

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Instytut Nauk o Żywności

Ewelina Julita Masiarz

**Kształtowanie właściwości przekąsek wieloziarnistych
poprzez modyfikację receptury i technologii wytwarzania**
Shaping the properties of multigrain snacks by modifying the recipe
and manufacturing technology

Praca doktorska
na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka

Promotor: dr hab. inż. Hanna Kowalska, prof. SGGW
Instytut Nauk o Żywności
Katedra Inżynierii i Organizacji Produkcji

Promotor pomocniczy dr inż. Anna Szafrńska
Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego
im. prof. W. Dąbrowskiego-Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Przetwórstwa Zbóż i Piekarstwa, Warszawa

Warszawa, rok 2023

Oświadczenie Promotora pracy

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia warunki do przedstawienia tej pracy w postępowaniu o nadanie tytułu naukowego.

Data 30.06.2023

Podpis promotora *flKordk*

Oświadczenie autora pracy

Świadoma odpowiedzialności prawnej, w tym odpowiedzialności karnej za złożenie fałszywego oświadczenia, oświadczam, że niniejsza praca doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami prawa, w szczególności ustawą z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. 2019 poz. 1231 z późn. zm.).

Oświadczam, że przedstawiona praca nie była wcześniej podstawą żadnej procedury związanej z nadaniem dyplomu lub uzyskaniem tytułu naukowego.

Oświadczam, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Przyjmuję do wiadomości, że praca doktorska poddana zostanie procedurze antyplagiatowej.

Data 30.06.2023

Podpis autora pracy *Ewelina Mosion*

Streszczenie

Kształtowanie właściwości przekąsek wieloziarnistych poprzez modyfikację receptury i technologii wytwarzania

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania wybranych surowców ziarnistych, jak pełnoziarniste płatki owsiane, pestki dyni i nasiona słonecznika oraz siemienia lnianego, a także preparatów błonnikowych do otrzymania batonów z zastosowaniem pieczenia i wybranych metod suszenia. Modyfikacja składu batonów polegała na doborze preparatu błonnikowego, zastąpieniu wody sokiem NFC do połączenia składników ziarnistych, wykorzystania świeżego soku z jabłek i uzyskanych wyłoków oraz białka grochowego. Preparat błonnika Psyllium, także w formie mieszanki z błonnikiem jabłkowym, był najbardziej przydatny zarówno pod względem spoiwości ciasta, jak i jakości batonów. Najlepszą metodą do wytwarzania batonów wieloziarnistych w warunkach laboratoryjnych było pieczenie i alternatywnie do pieczenia, suszenie mikrofalowo-konwekcyjne, przede wszystkim za względu na czas trwania procesu i jakość produktu. Podstawowe składniki ziarniste i dodatek preparatów błonnikowych kształtowały głównie wartość odżywczą, energetyczną a także jakość sensoryczną i mikrobiologiczną. Rodzaj zastosowanego preparatu błonnikowego wpływał na właściwości reologiczne masy batonowej jak i produktów. Modyfikacja receptury sokami NFC, świeżym sokiem i wyłokami z jabłek oraz dodatek białka grochowego spełniały zadania kształtujące właściwości masy batonowej oraz tworzenia nowych cech sensorycznych i jakościowych batonów. Białko powodowało częściowe obniżenie kaloryczności batonów, nadało znaczącej twardości i jednolitości w strukturze, ale także powodowało negatywne odczucia sensoryczne ze względu na lekko gorzki i mączny posmak, który jednocześnie zmniejszał poziom odczuwalności aromatów charakterystycznych dla innych składników produktu. Udział soków NFC powodował zmniejszenie pH batonów i zapewnił wyższą jakość mikrobiologiczną batonów. Zastosowanie świeżych wyłoków lub preparatów błonnikowych wytwarzanych z produktów ubocznych to możliwość zwiększenia zawartości błonnika w batonach, a także sposób zagospodarowania produktów ubocznych.

Słowa kluczowe: batony wieloziarniste, suszenie mikrofalowo-próżniowe, preparat błonnikowy, skład chemiczny, profil tłuszczowy, wartość energetyczna, ocena sensoryczna

Summary

Shaping the properties of multigrain snacks by modifying the recipe and manufacturing technology

The work aimed to assess the possibility of using selected grain materials, such as wholegrain oat flakes, pumpkin seeds, sunflower seeds and linseed, and fiber preparations to obtain bars using baking and drying methods. Modification of the composition of the bars consisted of the selection of fiber preparation, replacing water with NFC juice to combine granular ingredients, using fresh apple juice and obtaining pomace, and pea protein. The preparation of Psyllium fiber and in the form of a mixture with apple fiber was the most useful, both in terms of the cohesion of the dough and the quality of the bars. The best method for the production of multigrain bars in laboratory conditions was baking, and an alternative to baking, was microwave-convection drying, mainly due to the duration of the process and the quality of the product. The basic granular components and the addition of fiber preparations shaped mainly the nutritional and energy value as well as the sensory and microbiological quality. The type of used fiber preparation affected the rheological properties of the bar mass and the final products. Modification of the recipe with NFC juices, fresh juice and apple pomace as well as the addition of pea protein fulfilled the function of shaping the properties of the bar mass and creating new sensory and qualitative features of the bars. The protein caused a partial reduction in the caloric value of the bars, gave a significant hardness and uniformity in the structure, but also caused negative sensory impressions due to a slightly bitter and floury aftertaste, which at the same time reduced the perceptibility level of aromas characteristic of other ingredients of the product. The addition of NFC juices reduced the pH of the bars and increased a microbiological quality of the bars. The use of fresh pomace or fiber preparations produced from by-products is an opportunity to increase the fiber content in bars, as well as a way to manage by-products.

Keywords: multigrain bars, microwave-vacuum drying, fiber preparation, chemical composition, fat profile, energy value, sensory evaluation

Ewelina Mańkowska

Spis treści

WSTĘP.....	11
1. Przegląd piśmiennictwa	13
1.1. Przekąski – obecne trendy żywieniowe.....	13
1.1.1. Charakterystyka przekąseka potrzeby konsumentów	13
1.1.2. Przegląd rynku przekąsek w formie batonów	14
1.1.3. Próby zdefiniowania przekąskowych batonów wielozłarnistych	15
1.1.4. Batonu wielozłarniste jako alternatywa dla słodyczy	16
1.2. Obecne trendy wobec receptury otrzymywania batonowych przekąsek wielozłarnistych.....	16
1.2.1. Znaczenie naturalnych składników w recepturze batonów wielozłarnistych	17
1.2.2. Odżywcze i prozdrowotne znaczenie surowców złarnistych.....	19
1.2.3. Charakterystyka nasion oleistych i ich znaczenie żywieniowe	20
1.2.4. Charakterystyka soków NFC	22
1.2.5. Produkty uboczne jako surowce do batonów wielozłarnistych	24
1.2.6. Składniki wiążące, kształtujące jakość sensoryczną batonów wielozłarnistych.....	26
1.3. Charakterystyka i źródła błonnika pokarmowego	27
1.3.1. Metody otrzymywania i charakterystyka preparatów błonnikowych.....	28
1.4. Znaczenie żywieniowe i technologiczne błonnika pokarmowego	31
1.4.1. Znaczenie żywieniowe błonnika pokarmowego	31
1.4.2. Znaczenie technologiczne błonnika pokarmowego	32
1.5. Obecne trendy w wytwarzaniu batonowych przekąsek wielozłarnistych	32
1.5.1. Pieczenie	34
1.5.2. Możliwości wykorzystania wybranych metod suszenia do wytwarzania batonów wielozłarnistych.....	34
1.5.2.1. Liofilizacja.....	35
1.5.2.2. Metody suszenia hybrydowego	35
1.5.2.3. Wpływ obróbki cieplnej na właściwości batonów	36
1.6. Charakterystyka mikrobiologiczna surowców recepturowych i batonów wielozłarnistych	38
2. Cel i zakres pracy	40
2.1. Organizacja doświadczenia, materiałów i metody badawcze	41
3. Materiał i metodyka pracy	44
3.1. Materiał	44
3.2. Metody technologiczne	45
3.2.1. Technologia wytwarzanych batonów	45
3.2.2. Pieczenie.....	45

3.2.3. Suszenie	45
3.3. Metody analityczne.....	46
3.3.1. Oznaczenie zawartości suchej substancji.....	46
3.3.2. Oznaczenie aktywności wody	47
3.3.3. Oznaczenie barwy	47
3.3.4. Badanie właściwości mechanicznych	47
3.3.5. Test profilowej analizy tekstury (TPA)	48
3.3.6. Oznaczenie zawartości karotenoidów i chlorofilu	48
3.3.7. Oznaczenie zawartości polifenoli ogółem	48
3.3.8. Oznaczenie aktywności antyoksydacyjnej.....	49
3.3.9. Ocena właściwości sensorycznych	49
3.3.10. Wyznaczenie izoterm sorpcji	50
3.3.11. Wyznaczenie kinetyki sorpcji	51
3.3.12. Określenie wartości energetycznej batonów	52
3.3.13. Określenie właściwości przechowywalniczych	52
3.3.14. Jakość mikrobiologiczna.....	52
3.3.15. Oznaczanie składu kwasów tłuszczowych.....	54
3.3.16. Metody statystyczne.....	54
4. Omówienie i dyskusja wyników	55
4.1. Opracowanie receptury i technologii wytwarzania przekąskowych batonów wieloziarnistych, kontrolnych (ETAP I)	55
4.2. Wstępna ocena batonów kontrolnych otrzymanych metodą wypieku (forma aluminiowa) oraz suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego.....	56
4.3. Wpływ modyfikacji receptury I na właściwości technologiczne wytwarzania ciasta batonowego z dodatkiem preparatów błonnikowych i soków NFC (ETAP IA).....	58
4.4. Wpływ rodzaju błonnika i rodzaju soku NFC na profil tekstury masy batonowej.....	58
4.5. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego i rodzaju soku NFC na właściwości reologiczne masy batonowej.....	60
4.6. Wpływ modyfikacji receptury poprzez zastosowanie preparatów błonnikowych na właściwości wieloziarnistych batonów pieczonych.....	63
4.6.1. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na zawartość i aktywność wody oraz odczyn pH wieloziarnistych batonów pieczonych	63
4.6.2. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na właściwości tekstury wieloziarnistych batonów pieczonych.....	67
4.6.3. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na barwę wieloziarnistych batonów pieczonych	69
4.7. Dobór metody wytwarzania batonów wieloziarnistych (ETAP II)	74

4.7.1.	Ocena wybranych metod obróbki termicznej (pieczenie, suszenie) do wytwarzania batonów wielozłarnistych	74
4.7.2.	Wpływ metody otrzymywania i rodzaju błonnika na izotermy sorpcji batonów wielozłarnistych pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną	76
4.7.3.	Wpływ metody otrzymywania i rodzaju błonnika na kinetykę sorpcji batonów wielozłarnistych pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną	80
4.8.	Wpływ modyfikacji receptury IIA na właściwości fizykochemiczne i wartość odżywczą batonów wielozłarnistych (ETAP III)	82
4.8.1.	Wpływ rodzaju składnika wiążącego na zawartość i aktywność wody oraz pH wielozłarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną	82
4.8.2.	Wpływ rodzaju składnika wiążącego na barwę wielozłarnistych batonów pieczonych i suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną.....	85
4.8.3.	Wpływ rodzaju składnika wiążącego na właściwości tekstury wielozłarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną.....	90
4.8.4.	Wpływ rodzaju składnika wiążącego na zawartość polifenoli ogółem oraz aktywność przeciwutleniającą wielozłarnistych batonów pieczonych	95
4.8.5.	Wpływ rodzaju składnika wiążącego na profil tłuszczowy wielozłarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną.....	97
4.8.6.	Wpływ rodzaju składnika wiążącego na zawartość akrylamidu w wielozłarnistych batonach pieczonych.....	102
4.8.7.	Ocena właściwości sensorycznych wielozłarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metoda mikrofalowo-konwekcyjną	104
4.9.	Wpływ modyfikacji receptury IIB poprzez użycie wyłoków i soku jabłkowego na właściwości wielozłarnistych batonów pieczonych (ETAP III).....	106
4.9.1.	Wpływ świeżego soku i wyłoków z jabłek (w zastępstwie dodatku wody i preparatu błonnikowego) na zawartość i aktywność wody, barwę oraz wartość odżywczą wielozłarnistych batonów pieczonych	107
4.9.2.	Wpływ świeżego soku i wyłoków z jabłek na zawartość i aktywność wody oraz barwy batonów wielozłarnistych pieczonych	107
4.9.3.	Wpływ świeżego soku i wyłoków z jabłek na wartość odżywczą wielozłarnistych batonów pieczonych	108
4.10.	Wpływ modyfikacji receptury IIC poprzez dodatek białka grochowego na właściwości i kaloryczność pieczonych i suszonych batonów wielozłarnistych (ETAP III)	112
4.10.1.	Wpływ dodatku białka grochowego na zawartość i aktywność wody, pH oraz parametry tekstury wielozłarnistych batonów pieczonych	113
4.10.2.	Wpływ dodatku białka grochowego na parametry barwy wielozłarnistych batonów pieczonych	113
4.10.3.	Wpływ dodatku białka grochowego na kaloryczność i ocenę sensoryczną pieczonych i suszonych batonów wielozłarnistych.....	114

4.10.4. Wpływ modyfikacji receptury (typ błonnika, soki NFC, białko grochowe, wyłoki jabłkowe) na wydajność masową wieloziarnistych batonów pieczonych i suszonych...	118
4.11. Jakość mikrobiologiczna surowców i batonów wieloziarnistych	122
4.11.1. Jakość mikrobiologiczna składników receptury batonów wieloziarnistych	122
4.11.2. Jakość mikrobiologiczna wybranych batonów wieloziarnistych po wytworzeniu i przechowywaniu	123
4.12. Właściwości surowców wykorzystanych do produkcji batonów wieloziarnistych.....	126
5. Wnioski.....	130
6. Spis literatury.....	133
7. Aneks.....	146

WSTĘP

Wiele badań w Polsce i na świecie wykazuje, że właściwe odżywianie przyczynia się do wydłużenia życia człowieka, a także poprawy jego jakości [Konopacka i wsp. 2014]. Współcześnie, ludzie coraz więcej czasu poświęcają pracy, mając tym samym coraz mniej chęci i zaangażowania do własnoręcznego przygotowania często czasochłonnych posiłków. Prowadzi to do wzrostu zainteresowania żywnością przekąskową różnego typu. Rośnie świadomość dotycząca wartości żywieniowej produktów spożywczych. Trendy te wynikają też ze zmienności otoczenia, stylu życia, tradycji i zasad religijnych [Janowicz i wsp. 2018] oraz zabiegów marketingowych. Zwiększa się rynek produktów wegańskich, bezglutenowych i bez dodatku cukrów prostych. Rośnie znaczenie produktów mało przetworzonych, bez dodatkowych substancji (czysta etykieta), jak konserwanty, sztuczne barwniki lub aromaty.

W Piramidzie Żywienia i „Talerza zdrowego żywienia”, tj. zaleceń Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego – Państwowego Instytut Badawczy (NIZP PZH PIB) [Internet 1, Internet 2, Jarosz i wsp. 2016], dotyczących właściwego żywienia, produkty zbożowe, w tym produkty pełnoziarniste, plasują się u jej podstaw, zaraz za owocami i warzywami. Zalecenia te są też ideą Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), promującej „Mniej cukru, soli i tłuszczu, więcej błonnika”. Mimo to konsumpcja pieczywa w Polsce spada, co może wynikać ze stylu życia, spożywania wcześniej nieznanymi produktami (kuchnie świata, produkty regionalne) i zwiększenia wygody, m.in. poprzez spożywanie posiłków poza domem lub kupowanie/zamawianie dań gotowych. Według danych GUS (GUS 2021) w latach 2015-2021 spożycie pieczywa z roku na rok spadało. W roku 2015 spożycie wynosiło 3,74 kg na osobę, a w roku 2021 wynosiło ono 2,75 kg. Rozwój badań medycznych w kierunku wpływu żywności na zdrowie wykazał potrzebę ograniczania lub eliminowania niektórych składników w diecie, m.in. węglowodanów. W kwestii naturalnie występujących węglowodanów, mniej i bardziej złożonych, występujących w wielu surowcach roślinnych, a zwłaszcza zbożowych, odradza się idea korzystnego ich wpływu na zdrowie człowieka, w porównaniu do izolowanych cukrów prostych. Szczegółowe badania pozwalają określić zarówno składniki, których człowiek potrzebuje, a ich spożywanie zapewnia dobre zdrowie i kondycję, jak i te, których należy ograniczać lub unikać w codziennej diecie.

Batony wieloziarniste, zawierające płatki owsiane, nasiona słonecznika, pestki dyni, siemię lniane, inne źródła błonnika pokarmowego, mogą stanowić nowy trend w rozwoju przekąsek. Soki NFC, słód lub miód, jako składniki pomocne w formowaniu batonów, kreowaniu tekstury i smaku, mogą zwiększyć ich atrakcyjność. Skład batonów wieloziarnistych

może być modyfikowany na wiele sposobów, w zależności od zapotrzebowania, tj. dla różnych grup konsumentów, np. sportowców, młodzieży lub osób z problemami zdrowotnymi (zmuszonych do korzystania ze specjalnych diet), a także dla osób prowadzących zdrowy tryb życia lub chcących wzbogacić dietę, np. w naturalne składniki zwiększające wartość prozdrowotną. Istotna jest potrzeba zastępowania przekąsek zawierających duże ilości cukrów czy tłuszczów o niekorzystnym profilu. Ważną jest też kwestia związana z możliwością zagospodarowania wyłoków jako źródła błonnika i innych składników o charakterze prozdrowotnym.

Zalecane jest dbanie o uzupełnianie diety konsumentów w błonnik pokarmowy. Według Kołodziejczyka i Michniewicza [2018] dzienne spożycie błonnika przez osobę dorosłą wynosi 19-25 g, a dietetycy zalecają jego spożycie na poziomie 30-40 g. Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) na opakowaniach produktów żywnościowych zezwolił na umieszczanie oświadczeń żywieniowych „źródło błonnika” i „wysoka zawartość błonnika” o zawartości odpowiednio, co najmniej 3% i co najmniej 6% błonnika [EFSA 2010].

Błonnik pokarmowy, oprócz korzyści zdrowotnych dla człowieka, pełni też funkcje technologiczne. Zależnie od rodzaju (źródła pochodzenia) błonnik wpływa na teksturę żywności i trwałość, m.in. poprzez zdolność do zatrzymywania wody, nawilżania, zagęszczenia, nadawania lepkości oraz zdolność do zatrzymywania oleju [Nawirska i Kwaśniewska 2004]. Jest to związane ze zmniejszeniem utraty masy podczas obróbki termicznej produktów oraz większą wydajnością produkcji. Niektóre rodzaje błonnika, np. błonnik pszenny i inulina, mają zdolność do naśladowania sensorycznych i technologicznych funkcji tłuszczu zwierzęcego [Biswas 2011] i mogą być stosowane jako zamienniki tłuszczu. Preparaty błonnika hydrokoloidowego mogą zastąpić tłuszcz w produktach niskokalorycznych lub bezglutenowych [Borowy i Kubiak 2014].

Z przeglądu międzynarodowych raportów i prognoz wynika, że niezależnie od regionu świata obserwuje się tendencję wzrostową sprzedaży tzw. „zdrowych” przekąsek [Raport 1, 2020]. Wykazano, że największy udział w rynku sprzedaży będą miały przekąski zawierające orzechy, ziarna oraz tzw. mieszanki studenckie, przekąski z suszonych owoców, przekąski zbożowe i musli. Konsumentów najczęściej kupują tego typu przekąski w sklepach ze zdrową żywnością, a także sklepach online, typowo spożywczych oraz w mniejszej skali w supermarketach i hipermarketach [Raport 2021].

1. Przegląd piśmiennictwa

1.1. Przekąski – obecne trendy żywieniowe

1.1.1. Charakterystyka przekąseka potrzeby konsumentów

Przekąska to rodzaj niepełnego posiłku, który pozwala zaspokoić głód między głównymi posiłkami lub zastąpić jeden z posiłków. Na rynku żywności jest bardzo dużo przekąsek, które, zależnie od rodzaju kryteriów, można podzielić, np. ze względu na smak (słodkie, słone, pikantne), obróbkę termiczną (pieczone, smażone, ekstrudowane), wartość odżywczą (pełno- i niepełnowartościowe), główny składnik (skrobiowe, skrobiowo-mięsne, mięsne) [Kuchlewska 2019].

Występuje przekonanie, że najlepszymi przekąskami są produkty mało przetworzone, które dostarczają organizmowi cennych składników odżywczych i prozdrowotnych, przy tym zawierają małe ilości tłuszczu i cukrów, i najlepiej, brak tzw. „sztucznych” dodatków do żywności. Według Zespołu Ekspertów [Internet 3] do produktów, które mogą być zalecane jako przekąski o charakterze prozdrowotnym, zalicza się świeże owoce i warzywa w formie nieprzetworzonej lub jako dodatki, np. do sałatek, lub produkty pozyskane na ich bazie, np. musy oraz mleczne produkty fermentowane, jogurty naturalne i smakowe, maślanki, serki. Według Konopackiej i wsp. [2014] znaczenie żywieniowe owoców i warzyw jest większe niż dotychczas sądzono. Bowiem antocyjany spożywane z naturalną matrycą owoców stanowią bardziej korzystną formę niż wyizolowane i spożywane w suplementach diety. Wykazali, że również te w stanie przetworzonym mogą być wartościowym źródłem składników o pozytywnym wpływie na zdrowie człowieka, o ile proces technologiczny zostanie prawidłowo przeprowadzony. Dodatkowo wymieniono także pełnoziarniste produkty zbożowe, takie jak płatki owsiane, ciastka pełnoziarniste, orzechy i suszone owoce. Uzasadniono, że produkty te są bogatym źródłem błonnika, białka, wapnia, składników mineralnych i korzystnych dla zdrowia NNKT. Ponadto, w odniesieniu do profilaktyki chorób dieto-zależnych, należy zwracać uwagę na dostarczanie składników bioaktywnych, których nie zalicza się do niezbędnych składników odżywczych (np. związki polifenolowe). Określa się je jako prozdrowotne, bo mają korzystny wpływ na zdrowie człowieka i mogą ograniczać występowanie wielu chorób układu sercowo-naczyniowych i nowotworów.

Badając rodzaje przekąsek, które spożywane są najczęściej, przeprowadzono ankietę z udziałem studentów różnych wydziałów Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie [Kosicka-Gębska i Gębski, 2012]. Na jej podstawie stwierdzono, że słone przekąski są bardzo popularne, pomimo wiedzy o ich negatywnym wpływie na organizm człowieka,

zwłaszcza przy nadmiernym ich spożyciu. Konsumowanie tego typu przekąsek najczęściej odbywa się podczas spotkań towarzyskich, oglądania telewizji, w mniejszym stopniu w kinie oraz w tzw. wolnej chwili, a także w pracy lub podczas nauki. O wyborze przekąsek decyduje przede wszystkim smak, a w najmniejszym stopniu stopień przetworzenia. Inne badania z udziałem około tysiąca internautów w wieku od 16 lat zostały wykonane przez firmę Mintel [Internet 4]. Uzyskane wyniki również potwierdziły, że najczęstszym powodem wyboru przekąsek był smak, ale także cena, które stanowiły po 55% wszystkich odpowiedzi. Znaczna liczba, około 36%, ankietowanych odpowiedziała, że kupuje tego typu przekąski tylko w promocji. Powód zakupu przekąsek ze względu na zaufanie do danej firmy podało 33% ankietowanych, a 27% ze względu na oryginalny smak. Co piąty respondent odpowiedział, że przywiązuje dużą uwagę do składu i jakości przekąsek „zdrowych”, tj. o niskiej zawartości tłuszczu i ogólnie, niskokalorycznych.

1.1.2. Przegląd rynku przekąsek w formie batonów

W ostatnich latach, zwłaszcza wśród ludzi młodych, obserwuje się rosnące zainteresowanie przekąskami wysokiej jakości (wartości odżywczej), które potocznie określane są „zdrowymi”. Rosnąca świadomość konsumentów na temat konieczności racjonalnego odżywiania sprawia, że poszukują oni produktów, będących dobrym źródłem mikro- i makroskładników. Ciekawą formę przekąsek stanowią chipsy z owoców i warzyw. Nie zawierają one tłuszczu, „polepszaczy” smaku i zwykle są mniej kaloryczne w porównaniu do innych chipsów [Janowicz i wsp. 2012]. Takie chipsy produkowane są z cienkich plastrów owoców lub warzyw, które są suszone do niskiej zawartości wody, około 5% lub mniej. Różne metody suszenia pozwalają uzyskać atrakcyjną teksturę takich przekąsek [Kozak 2015]. Ich atrakcyjność wiąże się również z tym, że te mogą być przydatne w komponowaniu prawidłowej diety, a nawet zastąpieniu niektórych posiłków w ciągu dnia. Konsumenti często spożywają produkty typu batony musli, zawierające w swym składzie owoce i zboża. W recepturze niektórych batonów owocowo-warzywnych występują surowce ekologiczne. Niekiedy producenci podkreślają ich niski stopień przetworzenia [Jaworska i Pruska 2012].

Batony wieloziarniste (zbożowo-owocowo-warzywne) mogą być kierowane do konkretnej grupy odbiorców, na przykład dla osób z alergiami pokarmowymi, insulinoopornością, cukrzycą lub otyłością. Osoby z celiakią zainteresowane są tego typu przekąskami w wersji bezglutenowej [Borkowska i Opolska 2017]. Konsumenti, którzy z różnych powodów ograniczają lub eliminują niektóre składniki lub surowce ze swojej diety, mają dosyć mały wybór przekąsek, które nie zawierają, np. węglowodanów prostych, jaj lub

mąki glutenowej. Wielu technologów, dietetyków jak i lekarzy zainteresowało się żywnością specjalnego przeznaczenia [Rybicka i Gliszczyńska-Świąło 2014]. Spowodowało to również intensywny rozwój rynku przekąsek i poszerzenie badań dotyczących ich znaczenia w żywieniu określonych grup konsumentów.

1.1.3. Próby zdefiniowania przekąskowych batonów wieloziarnistych

Zalecane batonowe przekąski wieloziarniste to przede wszystkim odpowiednio skomponowane składniki pochodzenia naturalnego. Definiując takie batony, należy wyróżnić składniki, które stanowią elementy ziarniste oraz te, które stanowią swego rodzaju osnowę do składników ziarnistych. Skład oraz odpowiednia ich ilość daje możliwość zaprojektowania przekąski, którą można zastąpić jeden z posiłków codziennej diety. Johnson i Anderson [2010] analizowali brak ustalonej definicji przekąsek, który komplikuje interpretację literatury w tym zakresie i utrudnia wskazanie zaleceń odnośnie różnych grup przekąsek. Jednocześnie, w swoim przeglądowym artykule stwierdzili na podstawie wielu różnych badań, że nie ma wyraźnych dowodów na to, że „podjadanie” (spożywanie przekąsek) jest wyznacznikiem nadwagi i otyłości. Zależnie od rodzaju, przekąski poza posiłkami głównymi mogą dostarczać energii, a także składników prozdrowotnych, co może wpływać na spożywanie mniejszych porcji tradycyjnych posiłków. Z drugiej strony świadome, rozsądne „podjadanie”, zwłaszcza produktów zalecanych (owoce, warzywa, produkty zbożowe), może przynieść korzystny efekt dla organizmu, nie narażając go na „stres głodowy”. Przekąski mogą stać się formą urozmaicenia diety i dostarczania wszystkich potrzebnych składników.

W mediach, ale też w wielu publikacjach, występuje pojęcie tzw. „zdrowej przekąski”. Ze strony żywieniowej, żywność dostępna na rynku musi być bezpieczna, a więc „zdrowa”. Hasło to jest jednak przekonującym zabiegiem marketingowym. Warto jednak wyróżnić grupy produktów o wysokiej lub niskiej wartości odżywczej (gęstości odżywczej) lub wysoko/nisko przetworzonych. Jakkolwiek według Euromonitora [Internet 5] do 2025 roku światowy rynek „zdrowych” przekąsek osiągnie 98 miliardów dolarów, a batony będą stanowiły około 20% przychodów. Na rynku dostępne są przekąski zbożowe z dodatkiem owoców i warzyw, ale często z dużą ilością cukru, tłuszczu i innych dodatków potrzebnych do uzyskania pożądaných cech sensorycznych.

Łączna kompozycja składu batonów wieloziarnistych, a więc produktów zbożowych, nasion, orzechów, owoców i warzyw, stanowi źródło węglowodanów, tłuszczów i białek oraz wielu innych biokomponentów, które decydują o wysokiej jakości produktu, ocenianego przez konsumentów wrażeniami sensorycznymi, a także na podstawie właściwości prozdrowotnych (informacje zawarte na opakowaniu). Chociaż batony te mogą być dość kaloryczne, warto je

spożywać ze względu na wysoką zawartość niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, cukrów naturalnie uwięzionych, np. w tkance owoców, witamin, składników mineralnych i ogólnie związków przeciwutleniających. Batony wieloziarniste to również źródło błonnika pokarmowego, który oprócz istotnej roli w diecie człowieka, jest technologicznie przydatny w tworzeniu struktury batonu i wiązaniu składników [Godula i wsp. 2019].

1.1.4. Batony wieloziarniste jako alternatywa dla słodczy

Obecnie obserwuje się zapotrzebowanie na produkty, które mogłyby być alternatywą dla tradycyjnych przekąsek słodkich i słonych, zatem o recepturze opartej na składnikach jak najmniej przetworzonych. Dobór tych składników oprócz wartości odżywczej musi uwzględniać uwarunkowania technologiczne ciasta batonowego pod względem spoistości i łatwego formowania, a także jakości sensorycznej, w tym szczególnie smaku, tekstury i wyglądu. Pożądany smak słodki może zapewnić udział owoców. Tylko częściowe rozdrobnienie składników ziarnistych, widoczne w strukturze batonów, jest pożądane, bo kojarzone jest z produktem mniej przetworzonym [Borkowska i Opolska 2017].

Na rynku dostępne są przekąski w postaci batonów wieloziarnistych, zbożowych, zbożowo-owocowych, rzadziej dostępne są batony z dodatkiem warzyw. Produkty te zaliczane są do grupy „ready to eat” (gotowe do spożycia), bez stosowania obróbki termicznej i jakiegokolwiek przygotowania. Można je spożyć w dowolnym miejscu i czasie [Bohdan 2009]. Tego typu przekąski spożywają sportowcy, osoby na diecie, ale też te, które poszukują wysokiej jakości batonów do alternatywnych, uznawanych za produkty mniej wartościowe. Skład takich przekąsek może być również zaprojektowany względem potrzeb określonych grup osób, np. zmagających się z alergiami i nietolerancjami pokarmowymi (nietolerancja glutenu, laktozy itp.) lub innymi specyficznymi schorzeniami [Wianecki 2007]. Osoby z celiakią (nietolerancja glutenu) mają dosyć wąski wybór przekąsek. Producenci żywności, aby sprostać wymaganiom tych konsumentów, coraz częściej sięgają po tzw. zboża niechlebne, ale stosują także składniki wzbogacające, np. składniki ziarniste (niektóre pestki i nasiona roślin). Stosowanie tych surowców znacząco podnosi wartość odżywczą i prozdrowotną przekąsek, a często nadaje batonom korzystne walory sensoryczne [Zamłyńska i Przybylska 2015].

1.2. Obecne trendy wobec receptury otrzymywania batonowych przekąsek wieloziarnistych

Dobór składu receptury oraz technika wytwarzania batonów kształtuje ich teksturę i właściwości przechowalnicze, w tym wartość odżywczą, jakość sensoryczną i

mikrobiologiczną, które korelują z zawartością i aktywnością wody w batonach. W przypadku batonów wieloziarnistych pożądana jest mniej chrupiąca konsystencja oraz widoczne częściowo rozdrobnione składniki. Wykorzystanie tylko naturalnych składników może eliminować potrzebę stosowania syropów cukrowych. Niektóre składniki batonów mogą być stosowane zarówno w postaci częściowo rozdrobnionej, jak i pełnić rolę wiążącą, np. zżelowane siemię lniane lub daktyle tworzące swego rodzaju matrycę. Zboża są dodawane w postaci płatków, najlepiej pełnoziarnistych lub mielone na mąkę, lub ekspandowane [Pęksa i wsp. 2015, Wiancki 2007].

1.2.1. Znaczenie naturalnych składników w recepturze batonów wieloziarnistych

Do produkcji batonów wieloziarnistych można wykorzystać wiele surowców roślinnych, a szczególnie częściowo przetworzone ziarna zbóż, nasiona oleiste, owoce, warzywa, orzechy, a także produkty odpadowe, np. wytloki, które są przede wszystkim źródłem błonnika, ale także innych związków o właściwościach antyoksydacyjnych. W zależności od receptury i metody przetwarzania batony zbożowe mogą zawierać wiele pożywnych i korzystnych dla zdrowia składników zalecanych w codziennej diecie. Projektując batony wieloziarniste, należy uwzględnić trendy żywieniowe współczesnego konsumenta. Oprócz zaspokojenia głodu, ważne są upodobania lub konieczność eliminowania niektórych składników żywności. Upodobania do nadmiernego spożywania żywności zawierającej tłuszcze nasycone, cukier, sól oraz niskie spożycie warzyw, owoców i produktów pełnoziarnistych, to główne czynniki ryzyka wielu chorób. Dlatego wzrasta znaczenie takich czynników, jak czysta etykieta, zrównoważony rozwój oraz dodatek składników funkcjonalnych [Internet 5], najlepiej naturalnych. Warto zwrócić uwagę na wliczenie przekąsek do codziennej diety, która powinna dostarczać wszystkich składników odżywczych w odpowiednich ilościach. Według Aranceta i Pérez-Rodrigo [2012] osoba dorosła powinna spożywać tłuszcze w ilości pokrywającej 20-35% zapotrzebowania na energię, w tym nasycone kwasy tłuszczowe (SFA) powinny stanowić <10%. Wykazali również, że dieta niskotłuszczowa (<20% tłuszcze) powoduje obniżenie zarówno cholesterolu LDL, jak i HDL, dlatego może wystąpić ryzyko niedostatecznego spożycia NNKT i witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Ponadto u dorosłych określono minimalne dzienne zapotrzebowanie NNKT, które wynosi około 2,5% kwasu linolowego i 0,5% kwasu alfa-linolenowego. W prawidłowej diecie ważny jest także stosunek kwasów n-6 do n-3, który powinien wynosić 4-5:1, ale nie przekraczać wartości 10:1.

W diecie powinny dominować węglowodany złożone, dostarczane z produktami pełnoziarnistymi, owocami, warzywami i roślinami strączkowymi. Jest to ważne, bo są one

głównym źródłem energii wykorzystywanej do utrzymania temperatury ciała, funkcjonowania narządów wewnętrznych i aktywności fizycznej, a także uczestniczą w trawieniu tłuszczu [Jarosz i wsp. 2019]. Niedobór i nadmiar węglowodanów w diecie może być zagrożeniem dla zdrowia. Wiele węglowodanów to niestrawne frakcje błonnika pokarmowego, np. pektyna, celuloza i hemiceluloza. Surowce roślinne są również ważnym źródłem NNKT i białka. Binou i wsp. [2020] zwrócili uwagę na możliwość wzbogacania żywności, np. produktów zbożowych, roślinami strączkowymi w celu poprawy profilu glikemicznego i lipidemicznego. Floret i wsp. [2021] wykazali potrzebę zbilansowania źródeł białka pochodzenia roślinnego i zwierzęcego.

W zależności od receptury batonów mogą być one źródłem składników uznawanych jako nieodżywcze, ale mające duży wpływ prozdrowotny, szczególnie związki polifenolowe oraz karotenoidy, występujące w wielu owocach i warzywach. Te bioskładniki nie są zaliczane do odżywczych, ponieważ nie są wymagane do funkcjonowania organizmu ludzkiego. Nie ma też określonego poziomu ich dziennego spożycia. Ich bioaktywność była szczegółowo badana od wielu lat ze względu na właściwości profilaktyczne i zapobiegające wielu chorobom cywilizacyjnym. Dobór składników surowcowych i metody wytwarzania przekąsek wieloziarnistych może mieć istotny wpływ na retencję tych związków [Benjakul i wsp. 2019]. Według Stankiewicz i Wieczorkiewicz [2017] obecność antocyjanów w żywności ma ogromne znaczenie, ponieważ niewielki ich udział chroni kwas askorbinowy przed utlenieniem nawet podczas obróbki w wysokiej temperaturze. Potrzebna jest też wiedza o ich biodostępności i powiązanych korzyściach zdrowotnych, co zostało szczegółowo opisane m.in. przez Langston i wsp. [2021]. Zainteresowanie naturalnymi źródłami związków bioaktywnych jest duże, publikowanych jest wiele artykułów naukowych i tworzone są bazy danych dla różnych klas polifenoli [Bhagwat i wsp. 2014].

Innowacyjnymi przekąskami są na przykład batony z dodatkiem mąki z nasion jackfruit [Meethal i wsp. 2017] lub batony sezamowe wzbogacone czerwonymi burakami i imbirem lub owocami oraz batony dyniowe [Williamson i wsp. 2018]. Dobór receptury, w tym składniki wiążące, którymi mogą być np. koncentraty soków, miód, słód czy naturalne hydrokoloidy, oraz metody wytwarzania mogą poszerzyć obecny rynek przekąsek. Stosowanie różnych zbóż, nasion, warzyw i owoców, orzechów, a także ziół lub przypraw (czarnuszka, szafran) [Agbaje i wsp. 2014], fasoli mung [Showkat i wsp. 2018] i innych surowców roślinnych, w tym produktów odpadowych [Subiria-Cueto i wsp. 2021], może stwarzać ogromne możliwości produkcji przekąsek wysokiej jakości i wartości odżywczej. Batony można komponować również ze składników bezglutenowych lub wegańskich. Stosowanie naturalnych substancji roślinnych o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych [Kunicka-Styczyńska 2016] może

przedłużyć trwałość batonów bez potrzeby ich chemicznego utrwalania. Dobór składników ma duży wpływ na metody ich wytwarzania oraz właściwości sensorycznych batonów (smak, barwa, konsystencja). Ważną funkcją żywności jest dostarczenie konsumentowi satysfakcji z jej spożywania, a brak akceptacji konsumenta może dyskwalifikować produkt, mimo obecnych w nim cennych składników [Kozłowska i Troszyńska 1999].

Podsumowując, spośród ogromnej liczby produktów zbożowych, nasion, orzechów, owoców, warzyw i innych możliwe jest komponowanie batonów z naturalnych składników bez dodatku cukru lub ze zwiększoną zawartością błonnika, poprzez dodanie preparatów błonnikowych, które można uzyskać poprzez suszenie i mikronizację wyłoków owocowych [Subiria-Cueto i wsp. 2021].

1.2.2. Odżywcze i prozdrowotne znaczenie surowców ziarnistych

Ziarna różnych zbóż oraz płatki pełnoziarniste z nich uzyskane (owsiane, jęczmienne, pszenne i inne) są bogate w węglowodany (60–69%), zwłaszcza skrobię (40-58%), która dostarcza energii, są umiarkowanie bogate w białko (11,5-16%) i charakteryzują się niską zawartością lipidów (1,2–1,5%), z wyjątkiem owsa, w którym zawartość lipidów jest wyższa i wynosi około 6%. Występują także związki mineralne (1,7–2,8%), m.in. żelazo, cynk i miedź [Gibiński i wsp. 2005, Piątkowska i wsp. 2013]. Ziarna zbóż zawierają znaczącą ilość błonnika - od 2,2 do 13,2% [Koehler i Wieser 2013]. Owies i jęczmień, w przeciwieństwie do zbóż chlebowych, charakteryzują się niższą zawartością węglowodanów, w szczególności skrobi, oraz większą zawartością polisacharydów nieskrobiowych. Zboża są źródłem zarówno rozpuszczalnego, jak i nierozpuszczalnego błonnika pokarmowego, a także witamin z grupy B, tokoferoli, kwasu foliowego, biotyny i tiaminy. Płatki owsiane charakteryzują się zawartością błonnika pokarmowego na poziomie 14%, w tym około 8% frakcji rozpuszczalnej. Należące do frakcji błonnika polisacharydy nieskrobiowe (arabinoksylany i β -glukany) mają pozytywne działanie prozdrowotne. Zwiększają lepkość treści pokarmowej i mogą absorbować kwasy żółciowe. We wnętrzu jelita tworzą warstwę ochronną, która ogranicza wchłanianie cholesterolu [Gibiński i wsp. 2005]. Według Saleh i wsp. [2019] korzyści zdrowotne pełnoziarnistych zbóż wynikają z połączonego działania makro- i mikroelementów oraz błonnika pokarmowego, które znajdują się głównie w zewnętrznych warstwach okrywy owocowo-nasiennej (otrębów) i kielków. Po usunięciu otrębów i zastosowaniu metod przetwarzania, jak pieczenie lub gotowanie, wiele z tych związków jest tracona. Ziarna różnych zbóż są wykorzystywane jako dodatek do produktów piekarskich, musli, jogurtów. Od lat 90. ziarna w różnej postaci, np. kielki owsa i pszenicy, prażony lub ekstrudowany amarantus,

ekstrudowane ziarna pszenicy [Estévez i wsp. 1995] stały się bazą batonów wytwarzanych różnymi metodami, w tym m.in. batonów zbożowych o właściwościach prebiotycznych [Dutcosky i wsp. 2006], z nadzieniem [Sun-Waterhouse i wsp. 2010], z mąką lnianą [Khouryieh i Aramouni 2013], batonów słodkich lub słonych z produktami odpadowymi owoców i warzyw [Ferreira i wsp. 2015], z ziarnami chia [Kobus-Cisowska i wsp. 2016], z proszkiem z zielonej herbaty i hydrolizowanym kolagenem z okonia morskiego [Benjakul i wsp. 2019].

Białko nasion roślin strączkowych różni się składem aminokwasowym od białka ziarna zbóż. Zawiera większą ilość lizyny, treoniny, a niższą zawartość aminokwasów siarkowych (metioniny) i tryptofanu. Groch charakteryzuje się zawartością białka na poziomie 21-25%, natomiast łubin żółty i soja 35-42%. Nasiona groszku zielonego zawierają od 20 do 25% suchej substancji, w tym białka 6-7%. Zawierają wiele cennych aminokwasów, soli mineralnych żelaza, magnezu, witaminy C, B i E [Kołota i wsp. 2007].

1.2.3. Charakterystyka nasion oleistych i ich znaczenie żywieniowe

Nasiona oleiste, takie jak pestki dyni i słonecznika czy siemię lniane, podwyższają wartość odżywczą i prozdrowotną produktów. Mogą być składnikami przekąsek batonowych, musli, granola. Istnieje też duży potencjał zastąpienia alergicznych orzechów nasionami oleistymi. Każdy z wymienionych surowców zawiera cenne składniki, dlatego warto je spożywać [Achremowicz i wsp. 2017, Walkowiak i wsp. 2022].

Pestki dyni to nasiona o lekko orzechowym smaku i zielonym zabarwieniu. Charakteryzują się bogatym składem związków odżywczych i o działaniu prozdrowotnym. Pestki dyni zawierają ok. 37% tłuszczu (głównie nienasyconych kwasów tłuszczowych Omega-3), 35% białka, 1% węglowodanów, 3% błonnika i około 4% składników mineralnych [Habib i wsp. 2015]. Nasiona zawierają witaminę E, witaminy z grupy B, witaminę C oraz wiele innych biokomponentów, które mają korzystny wpływ na organizm człowieka [Dotto i Chacha 2020]. Są źródłem lecytyny, a także fitosteroli, dlatego są jednocześnie smaczne i zdrowe. Wpływają na obniżenie poziomu cholesterolu LDL we krwi i zapobiegają miażdżycy. Pestki dyni mogą służyć jako dodatek do pieczywa, deserów czy sałatek. Nadają się także jako przekąska [Achremowicz i wsp. 2017].

Podobnie, nasiona słonecznika mają wysoką wartość odżywczą i prozdrowotną, będąc bogatym źródłem błonnika, nienasyconych kwasów tłuszczowych NNKT (około 87%, głównie oleinowych), szczególnie grupy omega 6 i fitosteroli, a także witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Charakteryzują się zwłaszcza dużą zawartością witaminy E (35,2 mg/100 g), witamin z grupy B, kwasu foliowego, diterpenoidów, fitosteroli i wielu minerałów [Pal 2011].

Nasiona słonecznika są bardzo popularnym dodatkiem do produktów piekarskich. Tak jak dynia, można stosować je do sałatek, ale także jako przekąskę. Nasiona słonecznika powodują obniżenie poziomu cholesterolu LDL, obniżają ryzyko zaburzeń układu nerwowego, chorób serca i nowotworów [Achremowicz i wsp. 2017].

Len to jedna z najstarszych roślin uprawnych na świecie, a znaczenie gospodarcze wykazuje forma włóknista i oleista [Jasińska-Kuligowska i wsp. 2018]. Nasiona lnu i wytloki pozostałe po tłoczeniu oleju są źródłem wielu związków bioaktywnych o właściwościach prozdrowotnych. Siemię lniane zawiera około 40% bardzo cennego tłuszczu i 20% białka, a także błonnika rozpuszczalnego oraz związków fenolowych. Jest to jedno z najlepszych źródeł kwasu α -linolenowego pośród roślin oleistych [Achremowicz i wsp. 2017, Walkowiak i wsp. 2022], stanowiącego ponad 50% kwasów tłuszczowych omega-3 zawartych w siemieniu. Ze stosunkowo dużą zawartością kwasu linolenowego oraz linolowego wiążą się właściwości prozdrowotne siemienia lnianego. Są to niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe NNKT, które mają wpływ na prawidłowe funkcjonowanie mózgu i układu nerwowego. Wykazują też właściwości przeciwzakrzepowe i odgrywają główną rolę w ograniczaniu chorób układu krążenia, osteoporozy i cukrzycy [Singh i wsp. 2011]. Ponadto ich spożycie wpływa na zmniejszenie zawartości triglicerydów, a także niepożądaną frakcji cholesterolu LDL oraz zwiększenie zawartości frakcji HDL. Wysoka jest też zawartość błonnika pokarmowego, wynosząca około 28% suchej substancji, w tym około 25% frakcji rozpuszczalnych w wodzie, które łatwo pęcznieją i żelują [Ekiert i Dochniak 2015]. Siemię lniane jest bogate w lignany, szczególnie SDG (diglukozyd sekoizolarycyrezinolu), który reguluje hormonalną gospodarkę u kobiet. W roślinach związku te chronią przed działaniem wirusów i bakterii, a w organizmie człowieka mogą przeciwdziałać występowaniu i rozwojowi nowotworów hormonozależnych, zapobiegać osteoporozie i chorobom układu krążenia [Jasińska-Kuligowska i wsp. 2018]. Siemię lniane stosowane jest w leczeniu zapań, działa osłonowo na ściany przewodu pokarmowego. Jest również źródłem witaminy E oraz mikroelementów, m.in. potasu [Ekiert i Dochniak 2015, Achremowicz i wsp. 2017, Dzuwior i wsp. 2018]. Mercier i wsp. [2014] wykazali pozytywny wpływ dodatku siemienia lnianego w ilości do 15% na ocenę sensoryczną produktów, w tym wzbogaconych w nie batonów. Podobnie włączenie mąki lnianej w ilości do 12% poprawiło istotnie wartość odżywczą batonów zbożowych bez wpływu na ich właściwości sensoryczne i jakościowe [Khouryieh i Aramouni 2013].

Do batonów można dodać nasiona chia, zawierające głównie tłuszcz, około 35%, a także białko, kwasy tłuszczowe, związki mineralne, witaminy (B, D, E). Według Guindani i wsp.

[2016] nasiona zawierają znaczną ilość polifenoli (kwas kawowy i chlorogenowy, mirycetyna, kwercetyna, kaempferol). Nasiona chia stanowiły 7 i 10% udział 6-składnikowych batonów (amarant, sezam, suszona żurawina, płatki kokosowe, syrop z agawy, chia), badanych przez Kobus-Cisowską i wsp. [2016].

1.2.4. Charakterystyka soków NFC

Od wielu lat zaleca się spożywanie owoców i warzyw, najlepiej w ilości 800 g/dzień. W ten sposób można zmniejszyć ryzyko zachorowania, zwłaszcza na choroby metaboliczne. Mikrostruktura pokarmu odgrywa ważną rolę w uwalnianiu biokomponentów, wpływając na ich biodostępność, czyli możliwość wchłaniania z jelita i przenikania do osocza krwi, dlatego odżywcze znaczenie owoców i warzyw w diecie człowieka jest coraz bardziej doceniane [Konopacka i wsp. 2014]. Jednakże owoce i warzywa należy spożywać w różnej formie. Wygodną formą są świeżo tłoczone soki NFC. Można je wykorzystać również jako spoiwo w produkcji batonów wieloziarnistych.

Proces otrzymywania soków NFC polega na tłoczeniu miazgi owocowej, który najczęściej odbywa się na prasach taśmowych, następnie sokpoddawany jest sedymentacji lub dekantacji mechanicznej, pasteryzowany, a potem przechowywany w tankach aseptycznych w niskiej temperaturze oraz osłonie gazowej. Soki NFC pozyskiwane są ze świeżych lub mrożonych owoców. Posiadają typową barwę oraz zapach dla danego owocu czy warzywa. Tego typu soków nie można rozcieńczać wodą lub dodatkiem zagęszczonego soku. Ważnym aspektem, na który należy zwrócić uwagę jest prozdrowotność tych produktów, która jest znacznie większa od soków odtwarzanych. Są źródłem witamin, składników mineralnych, błonnika pokarmowego oraz flawonoidów i antocyjanów [Szwedziak i wsp. 2017]. Te ostatnie wiążą powstające w naszym organizmie wolne rodniki tlenowe, przez co zapobiegają wielu chorobom, między innymi nowotworom, uszczelniają naczynia krwionośne, mają też działanie przeciwzapalne. Soki te wpisują się w trend tzw. „zdrowego stylu życia” [Trojanowicz 2015].

Sok jabłkowy NFC jest źródłem wielu związków polifenolowych [Tian i wsp. 2018], a zwłaszcza kwasu fenolowego i chlorogenowego (Tab. 1). Związki fenolowe mogą wpływać na procesy metaboliczne i związane z nimi procesy komórkowe zachodzące w adipocytach (komórki tłuszczowe), prowadzące do redukcji tłuszczu trzewnego, a także metabolizmu lipidów [Barth i wsp. 2012].

Tabela1. Zestawienie zawartości związków fenolowych w soku jabłkowym NFC (wartości średnie).
Opracowanie własne na podstawie Tian i wsp. [2018]

Związek fenolowy	Zawartość [mg/l soku]
Kwas protokatechowy	1,68 ± 0,64
Epigallokatechina	11,12 ± 2,42
Katechina	5,12 ± 0,37
Procyjanidyna B2	43,19 ± 2,97
Kwas chlorogenowy	112,64 ± 10,02
Kwas 4-hydroksybenzoesowy	3,36 ± 0,47
Epikatechina	18,28 ± 2,01
Galusan epikatechiny	0,37 ± 0,06
Rutyna	2,01 ± 0,27
Hiperozyd	0,35 ± 0,06
Kwas elagowy	1,65 ± 0,27
Kwercytyna	3,62 ± 0,41
Florydyna	0,43 ± 0,02
Procyjanidyna	78,08 ± 2,44
Kwasy fenolowe	119,44 ± 10,16
Flawonoidy	6,40 ± 0,19
Zawartość polifenoli ogółem	203,93 ± 12,41

Sok NFC z czarnej porzeczki odznacza się przede wszystkim dużą zawartością witaminy C. Zawiera około 4-krotnie więcej witaminy C niż sok pomarańczowy i 50-krotnie więcej niż sok jabłkowy. Ponadto w soku porzeczkowym witamina C jest bardziej stabilna niż w innych sokach, co wynika z dużej ilości związków o właściwościach przeciwutleniających [Jessa i Hozyasz2016]. Sok z czarnej porzeczki znajduje się na liście ORAC, stanowiącej zestawienie produktów spożywczych o dużej zawartości roślinnych przeciwutleniaczy. Soki z czarnej porzeczki są bogatym źródłem antyoksydantów, szczególnie flawonoidów, które spowalniają proces starzenia i obniżają ryzyko chorób nowotworowych, działają również oczyszczająco ze względu na ich zdolność do tworzenia kompleksów z metalami ciężkimi, co ułatwia usuwanie ich z organizmu człowieka. W skórce znajdują się antocyjany, który mają charakter antybakteryjny, zwalczają bakterie *Escherichia coli*, odpowiadające za problemy żołądkowe. Korzystnym działaniem soku z czarnej porzeczki jest możliwość obniżenia cholesterolu i cukru we krwi. Owoce porzeczki zawierają znaczną ilość błonnika rozpuszczalnego (pektyn), który zapobiega zbyt wysokiemu wzrostowi cholesterolu w osoczu. Istotną cechą jest także niskie pH soku w granicach 2,8-3,0 [Xue 2022].

Sok NFC z dzikiej róży charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością witaminy C (10 razy więcej niż w owocach czarnej porzeczki). Obecnie na całym świecie prowadzone są zaawansowane badania nad różnymi bioaktywnymi właściwościami związków występujących w owocach dzikiej róży. Do bardziej interesujących składników obecnych w owocach dzikiej

róży należą: flawonoidy (zwłaszcza tilirozyd), GOPO (galaktolipid (2S)-1,2-di-O-[(9Z,12Z,15Z)-oktadeka-9-12-15-trienoilo]-3-O-β-d-galaktopiranozyloglicerol) oraz wielonienasycone kwasy tłuszczowe, kwas linolowy i α-linolenowy. Jednak jest również oczywiste, że w owocu dzikiej róży znajdują się inne bardzo ważne związki rozpuszczalne w lipidach, które wciąż nie są poznane [Winther i wsp. 2016].

Sok NFC z pigwy charakteryzuje się niskim pH 2,4-4,1, silnym działaniem przeciwutleniającym i stosunkowo dużą zawartością witaminy C. Owoce pigwy są cennym źródłem przeciwutleniaczy, głównie flawonoidów (flawan-3-ole i flawonole) oraz kwasów hydroksycynamonowych [Carvalho i wsp. 2010]. Wśród tych związków szczególne zainteresowanie wzbudziły flawonoidy, które odpowiadają za barwę owoców oraz proantocyjanidyny ze względu na ich silne działanie antyoksydacyjne [Silva i wsp. 2004, Wojdyło i wsp. 2014].

1.2.5. Produkty uboczne jako surowce do batonów wieloziarnistych

W przemyśle rolno-spożywczym około 44% odpadów pochodzi z owoców i warzyw natomiast 19% ze zbóż [Tassoni i wsp. 2020]. Produkty uboczne to głównie wytloki owocowe lub warzywne, składające się głównie z polisacharydów ścian komórkowych, takich jak celuloza, pektyny oraz hemicelulozy [Cybulska i wsp. 2013], dlatego są źródłem błonnika pokarmowego, a także węglowodanów, składników mineralnych, kwasów organicznych, i polifenoli. Mogą być wykorzystywane do częściowego zastąpienia mąki w wyrobach piekarskich, a także w roli spoiwa do batonów [Ktenioudaki i Gallagher 2012]. Zegartowska i wsp. [2018] wykazali wysoką zawartość składników mineralnych i zdolność przeciwutleniającą w wytlókach owocowych i warzywnych, dlatego stwierdzili, że mogą one stanowić korzystny dodatek do żywności, np. w cukiernictwie. Przykładowo, spośród wytlóków z aronii, porzeczki, jabłek, buraków i marchwi, w wytlókach z aronii wykazali najwyższą aktywność przeciwutleniającą wobec DPPH (51,3 μmol Troloxu/g) i najniższą (18,0 μmol Troloxu/g) w wytlókach z buraków. Alves i wsp. [2021] ocenili, że nasiona owoców mają wysoką zawartość olejów, w tym jednonienasyconych i wielonienasyconych niezbędnych kwasów tłuszczowych (n-6 i n-3), a także innych składników, takich jak polifenole, karotenoidy, tokoferole, sterole, fosfolipidy i glikolipidy.

Włączenie produktów ubocznych może zmienić fizyczne właściwości matrycy batonów, głównie ze względu na wysoką zawartość węglowodanów złożonych, z których często otrzymywane są preparaty błonnikowe. Ważną frakcją błonnika jest pektyna, polisacharyd o wysokiej zdolności zatrzymywania wody [Sun-Waterhouse i wsp. 2010]. Autorzy stwierdzili, że batony wzbogacone błonnikiem jabłkowym i inuliną mogą być wygodną żywnością

funkcjonalną, oferującą dobre źródło nie tylko błonnika, ale też polifenoli, które zawarte są w preparatach otrzymywanych z wyłoków jabłkowych. Ferreira i wsp. [2015] wskazali na możliwość wykorzystania stałych pozostałości owoców lub warzyw do produkcji słodkich i słonych batoników zbożowych. Według Behiri wsp. [2018] uboczne produkty jabłkowe, gruszkowe i daktylowe w ilości do 10% mogą być z powodzeniem stosowane jako składnik receptur batonów zbożowych. Dobrymi właściwościami technologicznymi, tj. niższym pH, a wyższą kwasowością i wysoką jakością mikrobiologiczną charakteryzowały się batony z mąką ze skórki ananasa [Damascenoi wsp. 2016]. W literaturze jest wiele informacji na temat wykorzystania produktów ubocznych z przetwórstwa owoców i warzyw [Grasso 2020], a także otrąb zbożowych [Dar i wsp. 2016], ale głównie w produkcji przekąsek metodą ekstruzji.

Do produkcji batonów wieloziarnistych można wykorzystać wiele cennych produktów odpadowych, których zagospodarowanie stanowi problem. Można tu wymienić produkty słodowe. W dużych ilościach produkowane jest młóto browarniane, zawierające w suchej masie około 24% białka, 70% błonnika, 1,2% mono- i dimerycznych kwasów fenolowych [Mussatto i wsp. 2006]. Jest to też materiał bogaty w celulozę i niecelulozowe polisacharydy, głównie arabinoksylany i β -glukan, a także białko [Gupta i wsp. 2010]. Santos i wsp. [2003] w 8 testowanych partiach suszonego młóta zbożowego zidentyfikowali 21,8–26,4% białka, 3,6–5,8% lipidów i 3,4% popiołu. Robertson i wsp. [2010] wykazali, że młóto zbożowe zawiera skrobię resztkową, która może stanowić do 13% suchej masy, a także witaminy i aminokwasy, zwłaszcza leucynę, walinę, alaninę, serynę i glicynę. Ograniczeniem w stosowaniu tego produktu, np. jako mąki, jest brązowawa barwa oraz zmiany smaku i konsystencji produktów, dlatego zaleca się dodatek w ilości do 5-10% [Gupta i wsp. 2010]. Również wyłoki (makuchy) lniane po tłoczeniu oleju mogą stanowić cenne źródło składników bioaktywnych w diecie człowieka. Zawierają 30-35% białka i, zależnie od metody tłoczenia, 7-20% tłuszczu. Jak wykazali Jasińska-Kuligowska i wsp. [2018], po tłoczeniu na zimno wyłoki zawierały znaczne ilości związków polifenolowych (3,6-4,0 mg/g s.m.) i stanowiły skoncentrowane źródło lignanów (15,34 mg/g s.m.).

Produktem ubocznym jest również naturalnie bezglutenowa mąka kokosowa, silny prebiotyk, który ze względu na wysoki poziom błonnika oraz białka, został wykorzystany w produkcji żywności funkcjonalnej [Kauri wsp. 2019]. Indeks glikemiczny mąki kokosowej wynosi 35, dlatego może być włączona do diety diabetyków [Jessa i Hozyasz 2015]. Przy opracowywaniu batonów zbożowych do przygotowania nanozawiesiny jako spoiwa wykorzystano okrywę nasion pinhao (*Araucaria angustifolia*), stanowiącą odpad [Timm i wsp. 2020]. Mirpoori wsp. [2021] zwrócili uwagę na możliwość wykorzystania produktów

ubocznych z nasion różnych gatunków roślin po ekstrakcji oleju, które są bogate w błonnik, białka i metabolity wtórne.

1.2.6. Składniki wiążące, kształtujące jakość sensoryczną batonów wieloziarnistych

W wielu badaniach omówiono zróżnicowane składniki, które wykorzystano w technologii wytwarzania batonów w celu uzyskania odpowiedniej tekstury. Do pierwszych batonów, począwszy od lat 90., stosowano głównie syropy cukrowe. Obecnie, oprócz syropów cukrowych, stosuje się miód, miazgę daktylową, sód i dość często różne hydrokoloidy, rzadziej preparaty błonnikowe.

Dobór spoiwa w produkcji batonów wieloziarnistych jest ściśle związany z formułowaniem właściwości sensorycznych batonów i może mieć wpływ na wartość odżywczą. Jako spoiwo można zastosować potencjalne składniki batonów jak odpowiednio przygotowane owoce, warzywa, nasiona. Zwykle woda, a także tłuszcz zawarty w surowcach, pozwalają na przygotowanie i formowanie ciasta batonowego. Rozdrobnione daktyle są też często używane jako spoiwo różnych batonów [Agbaje i wsp. 2014, Showkat i wsp. 2018, Laricheva i Mikhailova 2020]. W badaniach Kowalskiej i wsp. [2021a] do wytworzenia batonów wieloziarnistych zastosowano zmiksowany świeży jarmuż. Pektyny (heteropolisacharydy), których źródłem są owoce, zwłaszcza wytloki, są powszechnie stosowane jako środek żelujący i stabilizujący do napojów [Orrego i wsp. 2014]. Potencjalnym spoiwem może być również masło z nasion (słonecznik, dynia) lub oleje z nasion (siemienia lnianego, winogron, ostropestu plamistego) [Kowalska i wsp. 2021a].

Hydrokoloidy spożywcze są szeroko stosowanymi naturalnymi składnikami żywności, otrzymywanymi m.in. ze zbóż, nasion, owoców i warzyw. Mogą być używane jako składniki wiążące do batonów lub do formowania jadalnych powłok nabatony. Hydrokoloidy są wykorzystywane do formułowania nowej generacji funkcjonalnych produktów żywnościowych, zwiększania biodostępności składników żywności, dostarczania środków bioaktywnych do określonych miejsc w przewodzie pokarmowym czy modulowania ich profilu uwalniania [McClements 2021]. Waghmare i wsp. [2021] podkreślili zainteresowanie wykorzystaniem naturalnych śluzów, np. hydrokoloidów polisacharydowych o właściwościach funkcjonalnych i prozdrowotnych, ze względu na ich rolę jako czynników wiążących, stabilizujących i nawilżających, a także o działaniu przeciwdrobnoustrojowym, hipotensyjnym, hipoglikemicznym i hipolipidemicznym. Żele hydrokoloidowe stosuje się do wytwarzania tzw. owoców restrukturyzowanych na bazie przecierów owocowych i dodatków, takich jak cukier i

kwasy spożywcze. Powszechnie stosowanymi środkami żelującymi w tych produktach są alginiany, czyli naturalne polisacharydy wyekstrahowane z brunatnych alg morskich (*Phaeophyceae*) [Orrego i wsp. 2014, Walkowiak-Tomczak 2007].

Cybulska i Mierczyńska [2018] z wytlóków jabłkowych opracowały innowacyjny błonnikowy dodatek do żywności, umożliwiający stabilizację tekstury suchych produktów oraz zagęszczenie produktów silnie uwodnionych. Ponadto, preparat ten spowodował zwiększenie chrupkości i kruchości produktów cukierniczych, bez zwiększenia ich twardości.

Do produkcji batoników zbożowych Estévezi wsp. [1995], Dutcosky i wsp. [2006], Farinazzi-Machado i wsp. [2012] oraz Damasceno i wsp. [2016] stosowali lecytynę. Inni badacze do przygotowania syropów aglutynacyjnych używali pektyny [Sun-Waterhousewsp. 2010], gumy guar [García i wsp. 2012] lub gumy ksantanowej [Sungi wsp. 2014] i gumy akacjowej [Silva i wsp. 2020]. Melatii wsp. [2021] stosowali kolagen, gumę guar, gumę ksantanową i Psyllium jako spoiwo słonych batonów zbożowych. Zastosowanie gumy ksantanowej i babki płesznik (*Psyllium*) dało najwyższą ocenę sensoryczną pod względem wyglądu, tekstury, smaku i barwy. Wśród surowców wpływających na właściwości sensoryczne i wartość odżywczą miód, słód i zagęszczone soki mogą także pełnić rolę wiążącą [Sun-Waterhouse i wsp. 2010, Laricheva i Mikhailova 2020]. Opracowany przez Laricheva i Mikhailova [2020] baton z miodem zamiast cukru, został oceniony jako „Healthy Pocket Snack”, który nie zawiera sztucznych barwników i aromatów. Zastosowanie słodu w przekąskach wieloziarnistych oprócz roli wiążącej, umożliwia zatrzymywanie wilgoci w produkcie, przedłużając jego świeżość [Laricheva i Mikhailova 2020].

1.3. Charakterystyka i źródła błonnika pokarmowego

Błonnik pokarmowy (włókno pokarmowe) to składnik żywności, która pochodzi ze ściany i błony komórkowej roślin. Nie jest on trawiony przez organizm człowieka. Według podanej przez AACC (American Association of Cereal Chemists) [2001] „błonnik pokarmowy to pozostałość jadanej części roślin i węglowodanów, które są odporne na trawienie i wchłanianie w ludzkim jelicie cienkim, z pełną lub częściową fermentacją w jelicie grubym”. Błonnik odnosi się do dużej liczby substancji, które wykazują również dużą różnorodność właściwości fizykochemicznych. Różne źródła błonnika mają różne działanie metaboliczne i fizjologiczne, w zależności od chemicznych i fizycznych właściwości poszczególnych związków wchodzących w jego skład [Rana i wsp. 2011]. Błonnik występuje często jako mieszanina polimerów węglowodanowych, takich jak pektyny, celuloza, hemicelulozy, ligniny, śluzu i gumy roślinne [Górecka 2008, Nowak i Żmudzińska-Żurek 2008, Godula i wsp. 2019].

Przez lata błonnik nie był doceniany. Dopiero liczne badania wykazały jego korzystny wpływ na organizm człowieka [Yangilar 2013]. Dietetycy zalecają dzienne spożycie błonnika na poziomie 30-40 g, podczas gdy średnie spożycie u dorosłych wynosiło tylko około 19 g błonnika dziennie [Kołodziejczyk i Michniewicz 2018]. Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) zezwala na umieszczanie oświadczeń żywieniowych „źródło błonnika” i „wysoka zawartość błonnika” na opakowaniach produktów żywnościowych o zawartości odpowiednio co najmniej 3% i 6% błonnika (EFSA, 2010).

Ogólna klasyfikacja uwzględnia błonnik rozpuszczalny i nierozpuszczalny w wodzie. Do frakcji rozpuszczalnych należą β -glukany, gumy, pektyny, śluzy oraz duża ilość niestrawnych oligosacharydów (w tym inulina). Natomiast do frakcji nierozpuszczalnej zalicza się celulozy, ligniny, hemicelulozy. Błonnik rozpuszczalny w wodzie wspomaga obniżenie poziomu cholesterolu we krwi oraz wchłanianie glukozy w jelicie cienkim. Na regulacje jelitowe, głównie zwiększenie objętości jelita i korzystnie jego funkcjonowanie, wpływa błonnik nierozpuszczalny. Jedną z najczęściej spotykanych substancji błonnikowych jest celuloza, czyli włókniste ciało stałe, główny składnik budulcowy ścian komórkowych roślin wyższych. Należy do polisacharydów, jest bezwonna i bezzapachowa, zaliczana do najliczniejszej grupy polimerów występujących w przyrodzie. Nie rozpuszcza się w wodzie (zarówno ciepłej jak i zimnej). Można otrzymać rozpuszczalną pochodną celulozy poprzez chemiczne jej modyfikacje [Szymański i wsp. 2015, Nowak i Żmudzińska-Żurek 2008]. Hemicelulozy to polisacharydy niecelulozowe (mieszanina ksylany, mannany, galaktany, galaktomannany, glukomannany, arabinoksylany), występują głównie we włóknistej i zdrewniałej części roślin. Można wyróżnić hemicelulozy rozpuszczalne w wodzie bądź w kwasie. W przewodzie pokarmowym człowieka hemicelulozy, tak jak i celulozy, nie są trawione. Ulegają jednak częściowej degradacji, dzięki zawartym w nich drobnoustrojach [Godula i wsp. 2019, Nowak i Żmudzińska-Żurek 2008]. Lignina, niekryształiczny, hydrofobowy polimer, stanowi wypełnienie przestrzeni między włóknami celulozy i hemicelulozy w komórkach roślin. Jest odporna zarówno na chemiczną, jak i enzymatyczną hydrolizę. Lignina wykazuje zdolność wiązania wolnych rodników oraz wody i soli kwasów żółciowych. Niekiedy może utrudniać wchłanianie potrzebnymi składników odżywczych [Miedzianowska i wsp. 2019, Godula i wsp. 2019].

1.3.1. Metody otrzymywania i charakterystyka preparatów błonnikowych

Duża zawartość błonnika w wyłokach roślinnych i nasionach oleistych umożliwia stosowanie ich do wytwarzania preparatów błonnikowych o różnym składzie i właściwościach

[Larrauri 1999], wykorzystywanych do obniżenia wartości energetycznej żywności i poprawy tekstury lub jako wypełnienie suplementów diety [Nawirska i Kwaśniewska 2004, Cybulska i wsp. 2013]. Do produkcji preparatów błonnikowych wykorzystuje się też bogate w nieprzyswajalne węglowodany części zbóż, owoców i warzyw, odpady przemysłu zbożowo-młynarskiego i owocowo-warzywnego [Górecka 2008]. Takie źródła błonnika to produkty odpadowe, a więc tanie, a zarazem trudne do zagospodarowania. Ich wykorzystanie stanowi jednocześnie ułatwienie ich zagospodarowania, a produkcję batonów z ich dodatkiem można zaliczyć do technik zrównoważonej produkcji żywności [Masiarz i wsp. 2019].

Błonnik pokarmowy jako preparat stosowany jest w postaci granulatów lub proszków. Preparaty błonnikowe charakteryzują się dość niską ceną, ale aby mogły być stosowane do żywności, powinny spełniać takie wymagania, jak [Yangilar 2013, Godula i wsp. 2019]:

- duża zawartość błonnika pokarmowego,
- duża zawartość składników bioaktywnych,
- zachowanie równowagi między rozpuszczalnym i nierozpuszczalnym błonnikiem z dopuszczalną obecnością innych związków bioaktywnych,
- brak negatywnego wpływu na właściwości sensoryczne produktu,
- brak szkodliwego oddziaływania na organizm, minimalna zawartość metali ciężkich i pestycydów,
- możliwość zwiększenia trwałości produktu,
- działanie harmonijne z przetwarzaniem żywności,
- pozytywny wizerunek konsumencki,
- niska cena.

Oferta preparatów błonnikowych jest dosyć bogata. Składniki takie, jak białka, tłuszcze roślinne, składniki mineralne lub skrobia, poprzez swój charakterystyczny zapach lub smak, mogą mieć wpływ na cechy technologiczne i sensoryczne produktów, do których dodawane są te preparaty błonnikowe. Na rynku występują preparaty błonnikowe mielone i mikronizowane (1-30 μm). Preparaty mikronizowane charakteryzuje większa powierzchnia czynna, lepsza rozpuszczalność i zdolność tworzenia zawiesin niż preparaty o większej granulacji. W tym przypadku nie trzeba stosować substancji przeciwzbrylających i substancji wypełniających [Ziarno 2016].

Błonnik jabłkowy

Błonnik otrzymywany z wycieków jabłkowych cechuje się przyjemnym jabłkowym zapachem, kwaśnym smakiem i beżową barwą. Preparaty tego błonnika są też źródłem substancji mineralnych, a także białka. Błonnik jabłkowy składa się zarówno z frakcji

rozpuszczalnej (głównie pektyn), jak i nierozpuszczalnej. Pektyny są ważnym składnikiem diety człowieka, dlatego mają coraz większe zastosowanie jako bioaktywne frakcje błonnika pokarmowego, a także jako substancje zagęszczające i żelujące [Sun-Waterhouse i wsp. 2010]. Błonnik jabłkowy stosowany jest jako dodatek piekarski i cukierniczy. Ze względu na swoją wodochłonność wydłuża czas mieszania ciasta oraz zwiększa jego kwasowość [Baca i wsp. 2011]. Ta zdolność do zatrzymywania wody jest wykorzystywana do zwiększania wilgotności ciast, babeczek, granoli, muffinek i pieczywa. Dodatek błonnika jabłkowego wpływa na poprawienie struktury miękiszu, parametrów przechowalniczych, a także właściwości prozdrowotnych gotowych produktów [Cybulska i Mierczyńska 2018].

Błonnik Psyllium

Psyllium (babka płesznik) jest bogatym źródłem błonnika nierozpuszczalnego w wodzie. Ma on korzystny wpływ na mikroflorę jelitową oraz na perystaltykę jelit. Charakteryzuje się zdolnością ograniczania wchłaniania tłuszczu, wpływa na zmniejszenie apetytu i przyspieszenie przemiany materii. Wpływa na obniżenie cholesterolu we krwi [Kolanowska i Kozłowska-Wojciechowska 2006]. Charakteryzuje się również tym, że ma bardzo podobne właściwości do siemienia lnianego, ponieważ w okrywie nasiennej znajdują się związki, które łatwo pęcznieją w wyniku wchłaniania wody. Chemicznie Psyllium jest rozgałęzionym polisacharydem pochodzącym z ksylozy, arabinozy i galaktozy wraz ze śladowymi ilościami glukozy, ramnozy i kwasu uronowego [Zdrojewicz i wsp. 2015].

Błonnik z czarnej porzeczki

Błonnik z czarnej porzeczki charakteryzuje się dużą zawartością antocyjanów, które pozostają w wytlókach podczas procesu tłoczenia soku [Narwojsz i Borowska 2011]. Jest to produkt łatwo dostępny, ponieważ czarna porzeczka jest najczęściej uprawianym (obok truskawek) owocem jagodowym w Polsce [Kuliś wsp. 2022]. Niektóre związki polifenolowe o silnych właściwościach przeciwutleniających występują w tkankach roślinnych w połączeniu z błonnikami, dlatego o tym skuteczniej mogą ograniczać rozwój chorób dietozależnych. Takie kompleksy błonnikowo-polifenolowe znajdują się w owocach jagodowych, w tym w czarnej porzeczce [Aprikian i wsp. 2003, Jarosławska i wsp. 2011].

Błonnik kakaowy

Błonnik kakaowy, otrzymywany jest z prażonej łuski kakaowej poprzez zaawansowane oczyszczanie, mikronizację (rozdrabnianie mechaniczne) i sterylizację. Występuje w postaci sypkiego proszku o rozdrobnieniu od 2 do 600-800 µm [Bakoniuk i wsp. 2013]. Jest bardzo

wartościowym produktem. Jego smak i zapach są bardzo zbliżone do proszku kakaowego. Najczęściej stosowany jest w piekarstwie, cukiernictwie, ale również do przetworów mlecznych, typu musli i do suplementów diety. Istotną cechą błonnika kakaowego jest zapobieganie szybkiemu wysychaniu produktu poprzez wiązanie wody i tłuszczów. Zawiera również składnik, który występuje w kakao, teobrominę, alkaloid odpowiadający za jego właściwości biologiczne [Wojciechowicz i Gil 2009].

1.4. Znaczenie żywieniowe i technologiczne błonnika pokarmowego

1.4.1. Znaczenie żywieniowe błonnika pokarmowego

Błonnik pokarmowy długo uznawany był jako nieistotny element, który dostarczany był do organizmu człowieka wraz z pokarmem. Dopiero liczne badania, a także zmiana sposobu odżywiania spowodowały zwiększone zainteresowanie tym składnikiem. Okazało się, że wspomaga zapobieganie schorzeniom spowodowanym tzw. chorobami cywilizacyjnymi, jakimi są otyłość, cukrzyca typu 2, zaburzenia gospodarki jelitowej, zaparcia, wzdęcia, nadciśnienie tętnicze, miażdżyca czy nowotwory okrężnicy [Zołoteńka-Synowiec i wsp. 2013]. Większe spożycie błonnika pokarmowego pomaga także w utracie wagi oraz zapobiega przyrostowi masy ciała, poprzez regulację sytości lub pełności, które następują na skutek wzrostu lepkości masy pokarmu oraz opóźnienia opróżniania żołądka [Li i Komarek 2017]. W organizmie człowieka spełnia on dwa bardzo ważne zadania, które zostały poparte wieloma badaniami. Po pierwsze reguluje i obniża poziom cholesterolu we krwi, a co za tym idzie ryzyko chorób układu krążenia. Po drugie zapobiega otyłości i hipertriglicydemii poprzez zmniejszenie wchłaniania tłuszczów oraz cukrów prostych [Anderson i wsp. 2009, Olędzki i Hristova 2017].

Dieta wysokobłonnikowa nie jest polecana dla dzieci, kobiet w ciąży i karmiących, a także osób w podeszłym wieku ze względu na działanie osłabiające względem absorpcji składników mineralnych, takich jak wapń, cynk, żelazo oraz magnez. Błonnik może też absorbować leki oraz witaminy, co utrudnia wchłanianie ich do organizmu [Górecka i wsp. 2008]. Dodatkowymi przeciwwskazaniami dla diety wysokobłonnikowej jest stan zapalny żołądka, trzustki, dróg żółciowych i choroby jelit, choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy, stan pooperacyjny, choroby zakaźne [Górecka i wsp. 2008, Yangilar 2013].

Stosowanie preparatów błonnikowych i produktów wysokobłonnikowych poprawia ogólną kondycję człowieka oraz działa prewencyjnie na wiele chorób, natomiast nie jest to „złoty środek” na otyłość. Nie można zaniedbywać stosowania prawidłowej diety i podejmowania wysiłku fizycznego [Zdrojewicz i wsp. 2015].

1.4.2. Znaczenie technologiczne błonnika pokarmowego

Preparaty błonnikowe mają 3 główne właściwości funkcjonalne, dzięki czemu są dość powszechnie stosowane w produkcji żywności. Są to [Godula i wsp. 2019]:

- wiązanie wody (zmniejszenie zjawiska synerozy),
- zastępowanie tłuszczu (obniżenie kaloryczności wyrobów),
- zwiększanie objętości produktów.

Yangilar [2013] wyróżnił następujące funkcje błonnika pokarmowego:

- poprawa konsystencji i kształtowanie jakości sensorycznej,
- „wypełniacz” w produktach z obniżoną zawartością cukru i dodatek zagęszczający,
- naturalny przeciwutleniacz i barwnik,
- wydłużenie przydatności do spożycia ze względu na wiązanie wody.

Do produktów spożywczych błonnik dodawany jest jako tak zwany „wypełniacz”, w celu poprawy lub zmiany konsystencji, struktury, jakości sensorycznej. Najczęściej znajduje zastosowanie w produktach o obniżonej zawartości cukru. Błonnik rozpuszczalny charakteryzuje się większą lepkością, co bezpośrednio związane jest z nieregularną strukturą polisacharydów z łańcuchami bocznymi. Ta frakcja wykazuje większą zdolność do tworzenia żeli i działania jako emulgator [Elleuch i wsp. 2011]. Ponadto jego zdolność do zatrzymywania wody i oleju oraz pęcznienia jest wykorzystywana przy jego stosowaniu jako dodatku do różnych produktów. Cecha zatrzymywania oleju wpływa na stabilizację wysokotłuszczowych produktów spożywczych i emulsji, natomiast cecha zatrzymywania wody wykorzystywana jest w celu unikania synerozy i modyfikowania lepkości i tekstury produktów. Ponadto nieskrobiowe polisacharydy roślinne wykorzystywane są do przedłużenia trwałości produktów [Grigelmo-Miguel i wsp. 1999]. Do produktów piekarskich błonnik dodawany jest w celu przedłużenia świeżości, a niekiedy też utrzymania objętości, sprężystości i jędrności miększu [Sangnark i Noomhorm, 2004], a także częściowego zastąpienia mąki, cukru lub tłuszczu. Ze względu na niepożądane zmiany barwy i tekstury żywności, jego ilość jest ograniczona [Elleuch i wsp. 2011]. W efekcie możliwe jest uzyskanie korzystnych właściwości sensorycznych i prozdrowotnych żywności. Korzystne jest również wykorzystanie bogatych w błonnik i inne związki bioaktywne produktów odpadowych.

1.5. Obecne trendy w wytwarzaniu batonowych przekąsek wielozłazniarnistych

W celu zaspokojenia oczekiwań konsumentów, producenci żywności stale poszukują nowych rozwiązań surowcowych oraz technologicznych produkcji przekąsek. Zwykle

preferowane są te o strukturze chrupkiej. Dlatego dobór składu receptury i technika wytwarzania batonów są ważne w kształtowaniu ich tekstury, a także pod względem trwałości (jakość sensoryczna, odżywcza i mikrobiologiczna). Te wymogi w dużym stopniu korelują z zawartością i aktywnością wody w batonach. W przypadku batonów wieloziarnistych częściej pożądana jest miękkość batonów. Ponadto tylko lekko rozdrobnione składniki są kojarzone z produktami bardziej naturalnymi. Niektórzy producenci stosują tylko częściowe rozdrabianie składników i batony pakują w przezroczystym opakowaniu.

Metody wytwarzania batonów są bardzo zróżnicowane. Zależy to od receptury, w tym składników wiążących. Dlatego nie ma ścisłej klasyfikacji metod wytwarzania batonów, zwłaszcza tych wieloziarnistych.

Jednym z tradycyjnych sposobów wytwarzania batonów zbożowych było podgrzewanie, np. do 91-99°C, składników płynnych, których bazę stanowił syrop glukozowy [Estévez i wsp. 1995, Farinazzi-Machado i wsp. 2012, da Silva i wsp. 2014]. W innych badaniach gotowano składniki płynne w 100-105°C [Sung i wsp. 2014, Damasceno i wsp. 2016, Silva i wsp. 2020]. Bchir i wsp. [2018] podgrzewali syrop glukozowy i glicerol do 70°C, a Timm i wsp. [2020] rozpuszczali cukier i olej palmowy z wodą i gotowali zhomogenizowaną mieszaninę w 90°C przez 3 min. Obróbkę prowadzono zwykle przez kilka minut, do rozpuszczenia składników. Carvalho i Conti-Silva [2018] zastosowali podgrzewanie syropu kukurydzianego z suszonymi bananami i olejem palmowym do zagotowania, a następnie poddawali pieczeniu.

Jedną z powszechnie stosowanych metod wytwarzania przekąsek batonowych jest ekstruzja. Polega na obróbce w wysokiej temperaturze i obejmuje uplastycznienie masy w warunkach wysokiego ciśnienia i działaniu sił ścinających, a w końcowym etapie przetłoczenia materiału przez dyszę formującą [Wójtowicz 2018, Grasso 2020]. Metoda ta pozwala na otrzymanie produktów o bardzo niskiej wilgotności, dlatego wysokiej trwałości mikrobiologicznej bez potrzeby stosowania konserwantów. Produkty te są jednak wysoko kaloryczne i mogą być pozbawione wielu naturalnych składników, zwłaszcza witamin. Konsumenci spożywają tego typu przekąski ze względu na ich cechy sensoryczne, a szczególnie kruchą teksturę [Pęksa i wsp. 2015]. Jednocześnie produkty te są łatwostrawne, dlatego cenione np. dla osób niedożywionych, ciężko chorych [Lazou i Krokida 2010].

Jedną z zasadniczych metod wytwarzania batonów zbożowych jest pieczenie, jako kompromis między zachowaniem wartości odżywczej, jakości sensorycznej oraz bezpieczeństwa mikrobiologicznego. Według Kowalskiej i wsp. [2020a,b] wybrane techniki suszenia mogą być również wykorzystywane do produkcji batonów. Pozwalają one zintensyfikować smak, nadać odpowiednią formę i zwiększyć atrakcyjność produktu.

1.5.1. Pieczenie

W wielu badaniach do wytwarzania batonów zbożowych metodą pieczenia stosowano temperaturę w zakresie 130-180°C przez 10-35 minut, np. pieczenie w 130°C przez 15 minut [Ktenioudaki i Gallagher 2012, Bchir i wsp. 2018], w 150°C przez 15 minut [Kobus-Cisowska i wsp. 2016], w 163°C przez 35 minut [Aigster i wsp. 2011], w 160°C przez 10 minut [Ferreira i wsp. 2015], w 180°C przez 10 lub 13-17 lub 20-25 minut [Dutcosky i wsp. 2006, Yadav i wsp. 2015, Benjakul i wsp. 2019, Laricheva i Mikhailova 2020]. Suszenie, prawdopodobnie konwekcyjne, stosowano tylko w niektórych przypadkach, np. w 120°C przez 45 min [Estévez i wsp. 1995].

1.5.2. Możliwości wykorzystania wybranych metod suszenia do wytwarzania batonów wieloziarnistych

Suszenie jest od dawna znaną i często stosowaną metodą wykorzystywaną do przetwarzania i utrwalania żywności. Polega na dostarczaniu ciepła do materiału suszonego, potrzebnego do przemiany fazowej wody w parę wodną, która usuwana jest z wnętrza do warstw zewnętrznych i następnie do otoczenia. Powoduje obniżenie aktywności wody, zwykle poniżej 0,6, wpływając na trwałość mikrobiologiczną oraz zahamowanie reakcji enzymatycznych i nieenzymatycznych [Zalewska i wsp. 2016]. Otrzymany produkt jest lekki i zwykle mniejszy objętościowo [Cuccurullo i wsp. 2018].

Obecnie stosuje się wiele różnych technik suszenia żywności, zależnie od rodzaju surowca i oczekiwanych właściwości produktu oraz aspektów energetycznych. Do metod tradycyjnych należy wciąż często wykorzystywane suszenie konwekcyjne, które polega na doprowadzaniu ciepła do materiału na drodze konwekcji i charakteryzuje się jednoczesnym występowaniem wymiany masy i ciepła. Czynnikiem suszącym jest powietrze, które owiewa suszony materiał i odprowadza wilgoć. Najczęściej stosuje się temperatury od 60 do 90°C. Zaletą tej metody jest możliwość otrzymania produktu trwałego mikrobiologicznie i stosunkowo taniego [Zielińska i wsp. 2016, Czajkowska i Kowalska 2017]. Towarzyszą mu pewne wady, jak zmiana smaku, barwy i wyglądu, a także obniżenie zawartości niektórych składników, w tym prozdrowotnych. Metoda jest też czasochłonna i dlatego też energochłonna. Metodą czasochłonną, ale pozwalającą na wytwarzanie suszy wysokiej jakości, uznawane za wzorcowe, jest suszenie liofilizacyjne.

W ostatnim czasie popularność zyskują tzw. metody hybrydowe [Kassem i wsp. 2011]. Są to techniki uznawane za innowacyjne, bo pozwalają wyeliminować niektóre wady suszenia, jakie towarzyszą innym metodom. Jednocześnie zyskanie zalet suszenia wiąże się z

zastosowaniem kilku wybranych technik usuwania wody z żywności. W ten sposób można wyróżnić hybrydowe suszenie mikrofalowo-konwekcyjne, będące połączeniem działania mikrofal i konwekcji lub mikrofalowo-próżniowe, wykorzystujące obniżone ciśnienie [Calin-Sanchez i wsp. 2020].

Oprócz suszenia nowością w metodach wytwarzania przekąsek jest wykorzystanie drukarki 3D. Metoda ta pozwala na stworzenie spersonalizowanej żywności. Przekąski zbożowe otrzymywane w ten sposób miały założoną, wcześniej zaprojektowaną teksturę, stąd wytwarzanie porów nie jest „przypadkowe” jak w przypadku metod tradycyjnych [Derossi i wsp. 2020].

1.5.2.1. Liofilizacja

Liofilizacja to proces, który polega na usuwaniu wody z produktu zamrożonego na drodze sublimacji, z pominięciem stanu ciekłego [Zalewska i wsp. 2016]. Proces złożony jest z takich etapów, jak wstępne zamrażanie, sublimacja i dosuszanie. Podczas wstępnego zamrażania wytwarzanie małych kryształków lodu ułatwia przemianę lodu w gaz i wpływa na zwiększenie porowatości i kruchości materiału. Dosuszanie w ostatnim etapie polega na desorpcji wody związanej. W efekcie zawartość wody jest obniżona do pożądanego poziomu, najczęściej około 1%. Najczęściej proces odbywa się pod obniżonym ciśnieniem [Kondratowicz i Burczyk 2010]. Czas trwania liofilizacji to zwykle 24-48 godzin, w zależności rodzaju materiału i stosowanej temperatury. Charakterystyczne w tej metodzie jest to, że otrzymany produkt jest bardzo wysokiej jakości, zachowuje kształt i wygląd. Liofilizowany produkt jest zwykle bardzo porowaty, chrupiący i higroskopijny. Stosowanie niskiej temperatury ogranicza degradację składników labilnych. Produkt otrzymany jest bardzo zbliżony do surowca, przy jednoczesnym zachowaniu trwałości mikrobiologicznej [Ciużyńska i wsp. 2011]. Jednocześnie wiadomo, że w niektórych przypadkach dobór parametrów liofilizacji jest trudny, a nieodpowiednie warunki, zwłaszcza temperatura i czas trwania sublimacji i dosuszania, mogą powodować, że batony wieloziarniste będą zbyt twarde.

1.5.2.2. Metody suszenia hybrydowego

Suszenie mikrofalowo-próżniowe, tzw. puffing, polega na zastosowaniu obniżonego ciśnienia i ogrzewania mikrofalowego. Obniżenie ciśnienia w tym procesie powoduje obniżenie temperatury wrzenia wody, co w efekcie pozwala zminimalizować niekorzystne zmiany termiczne, wpływające na cechy suszonego produktu. Mikrofałe, będące nośnikiem energii, umożliwiają efektywne ogrzewanie materiału w całej objętości. Dzięki temu na jego

powierzchni nie tworzy się charakterystyczna dla suszenia konwekcyjnego skórka, a całkowity czas procesu jest zwykle kilkakrotnie krótszy, w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym. Kolejną zaletą tej metody jest mały skurcz i uzyskanie porowatej struktury suszy oraz zachowanie ich naturalnej barwy. Delikatność i chrupkość nadawana jest produktom poprzez intensywne, równomierne odparowanie wody przy obniżonym ciśnieniu. Puffing pozwala otrzymać susze wysokiej jakości, nie tylko wskutek krótkiego czasu obróbki, ale również poprzez zastosowanie stosunkowo niskiej temperatury materiału, bo obniżone ciśnienie wpływa na obniżenie temperatury przemiany fazowej wody oraz ograniczenie dostępu tlenu [Jałoszyński i wsp 2016, Szarycz i wsp. 2006].

Dodatkowym zabiegiem w suszeniu mikrofalowo-próżniowym jest wstępne podsuszanie konwekcyjne. Ten etap suszenia jest wynikiem wymogu stawianemu materiałom suszonym mikrofalowo-próżniowo, ponieważ do prawidłowego przebiegu tego procesu materiał powinien wykazywać wilgotność na poziomie 30-40%. Konwekcyjne podsuszanie zwykle trwa stosunkowo krótko i prowadzi do częściowego obniżenia zawartości wody, zwłaszcza warstw zewnętrznych. Ogranicza to jednocześnie zlepianie materiału. Końcowe suszenie do wymaganej zawartości wody przy wykorzystaniu mikrofal i obniżonego ciśnienia jest krótkie i korzystne ze względu na jakość suszonego materiału [Czajkowska i Kowalska 2017]. Istotną zaletą metody konwekcyjnej, a następnie mikrofalowo-próżniowej jest otrzymanie produktów o podwyższonej porowatości (puffing), a także zachowanie wielu składników odżywczych, ponieważ proces jest zwykle krótki, stąd krótkie narażenie materiału na działanie temperatury [Kowalska i wsp. 2020a]. Krótki czas procesu może generować niższe koszty zużycia energii [Singh i wsp. 2013].

Techniki suszenia są wciąż doskonałe. Chen i wsp. [2020] wykazali, że w suszeniu żywności możliwe jest tworzenie kombinacji mikrofal, podczerwieni, ultradźwięków i częstotliwości radiowej z technikami sztucznej inteligencji, takimi jak komputerowe systemy wizyjne i sztuczne sieci neuronowe.

1.5.2.3. Wpływ obróbki cieplnej na właściwości batonów

W wytwarzaniu batonów wieloziarnistych obróbka cieplna może być wykorzystywana na różnych etapach. Znaczenie warunków przeprowadzenia tej obróbki ma wpływ na właściwości fizykochemiczne i trwałość batonów. W tradycyjnych metodach wytwarzania podgrzewanie ma na celu głównie połączenie składników i umożliwienie ich formowania. Zastosowanie innych metod, jak pieczenie, suszenie, ekstruzja, pozwala obniżyć wilgotność produktu i wpływa na kształtowanie zróżnicowanych właściwości batonów, związanych m.in. z teksturą, barwą,

zapachem i smakiem. Zależnie od metody ogrzewania (temperatury), ciśnienia, czasu i innych czynników (aktywność wody, pH) mogą zachodzić różne mechanizmy. W zależności od temperatury i właściwości spoiwa może nastąpić częściowe rozpuszczenie, zmiękczenie poszczególnych składników. Mogą zachodzić również reakcje utleniania, denaturacji i hydrolizy, w tym reakcje Maillarda i karmelizacji. Produkty tych reakcji kształtują właściwości strukturalne (porowatość, gęstość, miękkość lub twardość), sorpcyjnej sensoryczne (smak, aromat) oraz ogólną atrakcyjność produktów [Ajandouz i wsp. 2008].

W zależności od grubości, receptury i sposobu przygotowania batonów wieloziarnistych, mogą charakteryzować się chrupkością lub miękkością. Wyższa zawartość wody i jej aktywność (odpowiednio około 70% i 0,8-0,9) w batonach miękkich może powodować migrację wilgoci i innych składników oraz zmiany jakości podczas przechowywania. Chrupiące batony o niższej zawartości wody i aktywności wody (odpowiednio poniżej 20% i 0,6) mogą być bardziej stabilne podczas przechowywania. Stabilność batonów zależy również od zawartości węglowodanów i tłuszczu. Mridula i wsp. [2013] wykazali, że 20% dodatek siemienia lnianego do batonów owsianych zawierających 45% miodu i syropu kukurydzianego wpłynął na stabilność kwasów tłuszczowych n-3 podczas przechowywania w temperaturze 25°C lub w warunkach chłodniczych przez 30 dni. Po 90 dniach zawartość kwasów tłuszczowych uległa obniżeniu o 4,5 i 10,3%, podczas przechowywania odpowiednio w lodówce i temperaturze 25°C.

Biorąc pod uwagę produkcję batonów i starania związane z zachowaniem termolabilnych składników, powinna być zalecana odpowiednio podwyższona temperatura, ale krótki czas. Zarówno długi czas działania temperatury, jak i obróbka mechaniczna (rozdrabnianie) mogą mieć wpływ na obniżenie zawartości wielu natywnych składników, zwłaszcza witamin i związków polifenolowych, głównie wskutek utleniania, a także fotodegradacji, degradacji enzymatycznej lub izomeryzacji (formy *trans* do konfiguracji *cis*) [Langston i wsp. 2021]. Jednakże, wiele badań dowodzi, że w wysokiej temperaturze, m.in. w wyniku reakcji Maillarda, wzrasta potencjał antyoksydacyjny [Michalska i Łysiak 2014, Kowalska i wsp. 2021b]. Nayak i wsp. [2015] wykazali, że wysoka temperatura może mieć negatywny wpływ na związki fenolowe i flawonoidy w owocach, warzywach i zbożach. Jednak możliwe jest rozłożenie związków fenolowych o wyższej masie cząsteczkowej do tych o niższej masie, a w konsekwencji zwiększenie ogólnej aktywności przeciwutleniającej żywności. Obecnie, gdy oprócz zawartości fitozwiązków, zaczęto zwracać uwagę na ich biodostępność, obróbka termiczna może mieć jeszcze większe znaczenie. Ponadto wykazano, że niektóre fitozwiązki, np. karotenoidy, mogą być bardziej stabilne w roślinnej matrycy, nawet przy stosowaniu wysokiej temperatury [Dias i wsp. 2014, Shahidi i Pan 2021].

W literaturze brakuje informacji o wpływie warunków wytwarzania batonów na ich właściwości fizykochemiczne i odżywcze, a także w aspekcie bezpieczeństwa takiej żywności. W wysokiej temperaturze mogą powstawać takie związki, jak pochodne akryloamidu i furanu. Oba związki zostały uznane przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC) jako „prawdopodobnie rakotwórcze dla ludzi” [Rozporządzenie Komisji (UE)2017/2158, Internet 9]. Dlatego należy dostosować warunki obróbki termicznej podczas wytwarzania batonów w celu ograniczenia tworzenia szkodliwych dla zdrowia związków. Pod wpływem obróbki cieplnej zachodzą również zmiany błonnika. Khanum i wsp. [2000] zaobserwowali znaczny wzrost zawartości błonnika rozpuszczalnego i spadek zawartości błonnika nierozpuszczalnego w surowcach traktowanych termicznie. Techniki i parametry suszenia oraz matryca żywności mogą wpływać na jakość suszonego materiału.

1.6. Charakterystyka mikrobiologiczna surowców recepturowych i batonów wieloziarnistych

W projektowaniu produktów spożywczych ważnym zagadnieniem jest ich trwałość i bezpieczeństwo mikrobiologiczne. Produkty przekąskowe, w których skład wchodzi ziarna zbóż, nasiona, suszone owoce lub warzywa, mogą być źródłem substancji niebezpiecznych dla zdrowia. Nasiona zbóż oraz pestki dyni i nasiona słonecznika mogą zostać zanieczyszczone podczas każdego etapu produkcji, przetwarzania, przechowywania i dystrybucji. Pierwszym etapem, podczas którego może dojść do infekcji, jest zanieczyszczona gleba, kontakt ze zwierzętami lub brudnym sprzętem użytym do zbioru i transportu. Atutem tych surowców jest niska aktywność wody oraz niska wilgotność, które hamują rozwój na powierzchni drobnoustrojów, takich jak *Escherichia coli* czy *Salmonella* [Brar i Danyluk 2018].

Grzyby, które występują na zbożach można podzielić na pozbiornicze (*Alternaria*, *Fusarium*, *Cladosporium* i *Helminthosporium*) i przechowalnicze. Do infekcji na polu (podczas zbioru) może dojść wtedy, gdy panują odpowiednie warunki, takie jak wysoka wilgotność i aktywność wody. Natomiast grzyby przechowalnicze mogą atakować ziarno tuż po zbiorze i podczas przechowywania (*Aspergillus*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium* i *Wallemia*) [Laca i wsp. 2006, Brar i Danyluk 2018, Los i wsp. 2018]. Największym zagrożeniem zbóż, ale też innych surowców roślinnych, są mykotoksyny, czyli związki chemiczne produkowane przez grzyby strzępkowe jako metabolity wtórne. Susze z owoców oraz niektóre orzechy są podatne na zakażenia grzybami z rodzaju *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* i *Alternaria*, dlatego mogą być potencjalnym źródłem zagrożenia aflatoksynami, które są genotoksyczne i kancerogenne [Kabak, 2016, Asghar i wsp. 2017]. Ze względu na wysoką toksyczność mykotoksyn i oporność

na czynniki fizykochemiczne, w Polsce i innych krajach ustanowiono przepisy dotyczące ochrony zdrowia konsumentów [Gajewska i Głowacka 2019]. Komisja Unii Europejskiej ustanowiła najwyższe dopuszczalne limity, m.in. dla suszonych owoców i produktów z nich wytworzonych, przeznaczonych do bezpośredniego spożycia przez ludzi lub użycia jako składniki środków spożywczych, a także dla wszystkich zbóż i produktów pochodnych, w tym przetworzonych produktów zbożowych, które wynoszą 2 µg/kg dla aflatoksyny B₁ i 4 µg/kg dla sumy aflatoksyn B₁, B₂, G₁ i G₂ [Rozp. Komisji 1881/2006 z późn. zmianami oraz 165/2010].

Zboża mogą być zainfekowane drobnoustrojami, które powodują psucie się żywności. Są to najczęściej mikroorganizmy należące do rodzin *Pseudomonadaceae*, *Bacillaceae*, *Lactobacillaceae* i *Micrococcaceae*. Do bakterii, które mogą być obecne na ziarnie zbóż należą m.in.: bakterie z grupy coli, kwasu mlekowego, enterokoki, *Clostridium spp.*, *Bacillus cereus*, *Salmonella* i *Staphylococcus aureus*. Pojawiająca się mikroflora bakteryjna uzależniona jest od warunków środowiskowych panujących w danym rejonie, a także podczas zbioru, przechowywania, obróbki oraz braku higieny [Laca i wsp. 2006, Brar i Danyluk 2018, Los i wsp. 2018].

W określeniu okresu przydatności do spożycia żywności ważne są jej specyficzne cechy, które mogą mieć określony wpływ na rozwój mikroflory. Jednym z istotnych komponentów jest zawartość kwasów organicznych, wpływających na stężenie jonów wodorowych, warunkujących rozwój mikroorganizmów [Shadbolt i wsp. 2003]. Bakterie preferują pH bliskie neutralnego 6,5-7,5, ale zakres tolerancji jest szerszy, wynosi 4-9. Odczyn niektórych soków, np. jabłkowych, wynosi około 3,5, dlatego według Makarewicz i wsp. [2018] można je zaliczyć do produktów wpływających na ograniczenie wzrostu drobnoustrojów.

2. Cel i zakres pracy

Celem naukowym pracy doktorskiej była ocena możliwości wykorzystania wybranych surowców ziarnistych (płatki owsiane pełnoziarniste, pestki dyni i słonecznika, siemię lniane), a także preparatów błonnikowych do otrzymania batonów z zastosowaniem pieczenia lub suszenia. Dobór składu batonów wiązał się z uwzględnieniem podziału składników na ziarniste oraz stanowiące osnowę dla składników ziarnistych. Jednocześnie założono wykluczenie takich składników, jak węglowodany proste, gluten, jaja oraz inne dodatki. Wiązało się to z określeniem wpływu receptury batonów na ich właściwości fizyko-chemiczne i sensoryczne. Podstawą odniesienia do określenia doboru składu była ułatwiająca formowanie zwięzłość ciasta przed wypiekiem oraz właściwości batonów, które można określić następująco:

- batony zbożowe - ze względu na pełnoziarniste płatki owsiane;
- batony ziarniste - ze względu na pestki dyni, słonecznika, siemię lniane;
- prozdrowotne - ze względu na zwiększoną zawartość błonnika i innych naturalnych składników oraz brak dodatku węglowodanów prostych, glutenu, jaj;
- o teksturze zwięzłej, ale miękkiej wewnętrznej części batonów, stąd o stosunkowo wysokiej wilgotności i trwałości do 14 dni;
- skierowane do osób „zabieganych” lub grup konsumentów, np. wegan, ale też dla dbających o zdrowie, jako alternatywne do wielu przekąsek dostępnych na rynku, uznawanych za mniej wartościowe, z uwagi na np. dużą liczbę składników dodatkowych, traktowanych obecnie jako niewskazane, lub spożywanych w nadmiarze.

W zakresie badań ujęto określenie możliwości zastosowania różnych preparatów błonnikowych do wytwarzania batonów. Ważnym zagadnieniem była ocena zastosowania wybranych technik suszenia do wytwarzania wieloziarnistych batonów przekąskowych, możliwości kształtowania nowych cech batonów, a przede wszystkim zachowania składników termolabilnych. W kolejnym etapie pracy zbadano wpływ zastosowania soków do obniżenia pH i zwiększenia trwałości mikrobiologicznej batonów, a także kształtowania ich jakości sensorycznej. Ponadto uwzględniono zwiększenie zawartości białka poprzez dodatek białka grochowego oraz wykorzystanie świeżo tłoczonego soku i uzyskanych wycieków z jabłek.

Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych oraz analizy literatury naukowej, dotyczącej receptury i metod wytwarzania batonów, osiągnięcie postawionego celu pracy wiązało się ze postawieniem hipotezy badawczej, która zakładała:

1. Skład batonów z uwzględnieniem składników zbożowych, ziarnistych i cieczy spajającej pozwala otrzymać łatwe do formowania ciasto, a po pieczeniu produkt o pożądanym

- właściwościach fizyko-chemicznych oraz wartości odżywczej i prozdrowotnej.
2. Dobór preparatu błonnikowego ułatwia opracowanie technologii wytwarzania batonów poprzez zwiększenie zwięzłości ciasta oraz ograniczenia kruszenia batonów.
 3. Alternatywnie do pieczenia, dobór metod suszenia batonów umożliwi wytwarzanie batonów wysokiej jakości z zastosowaniem niższej temperatury procesu.
 4. Zastosowanie soków NFC wzbogaca batony w wiele naturalnych składników i wpływa na obniżenie pH, powodując zwiększenie trwałości batonów.
 5. Zastąpienie wody sokiem z jabłek, a także dodatek świeżych wytlóków z jabłek lub białka grochowego umożliwi zwiększenie zawartości naturalnych składników lub białka oraz kształtowanie właściwości sensorycznych, a także obniżenie wartości energetycznej batonów.

2.1. Organizacja doświadczenia, materiał i metody badawcze

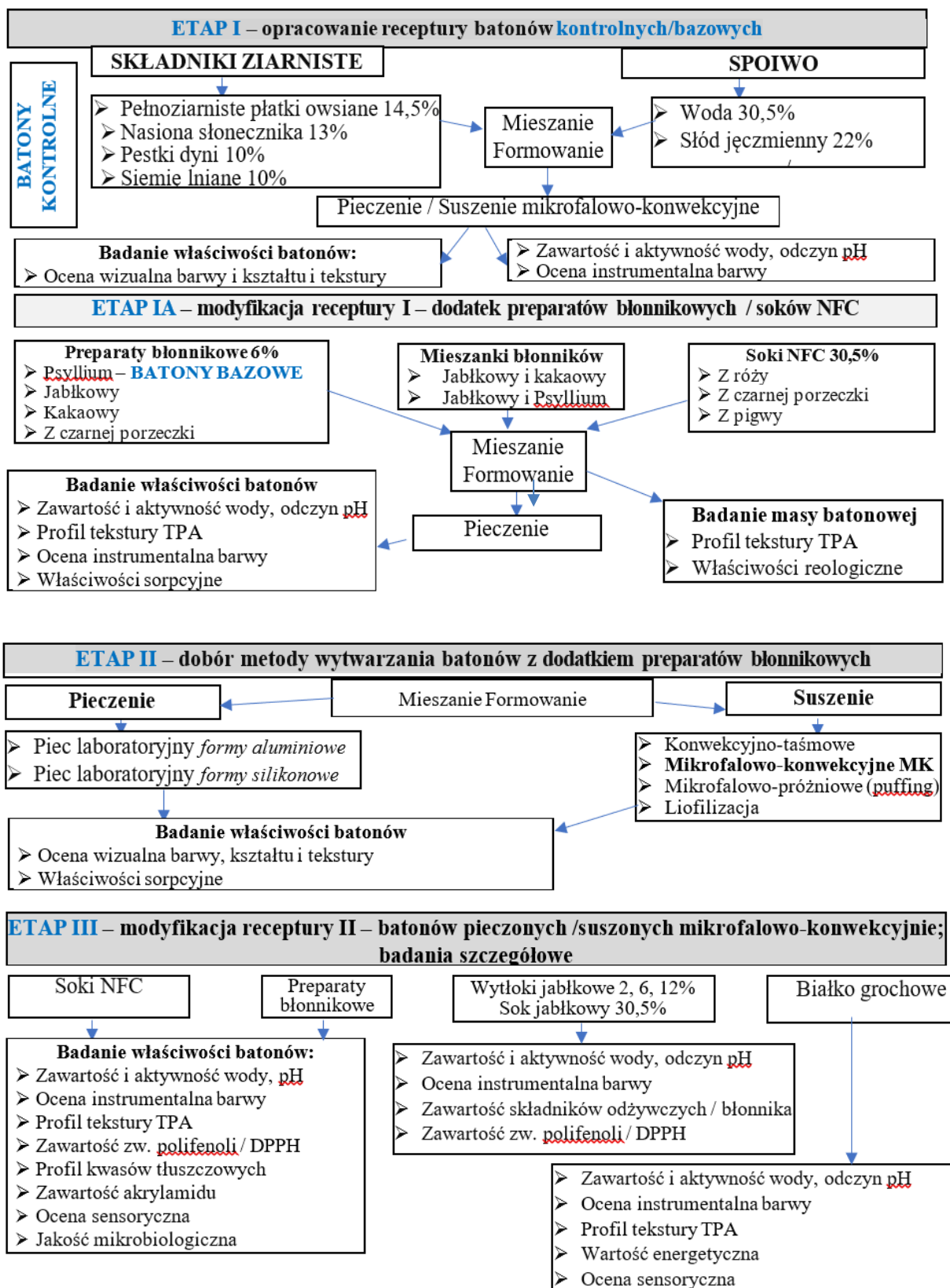
Koncepcja badań opierała się na trzech etapach (Rys. 1).

ETAP I – dobór składników i ustalenie bazowego składu batonów

Receptura batonów ustalona była w ramach badań wstępnych i opierała się na przygotowaniu bazowego składu z wykorzystaniem surowców, które podzielono na **ziarniste**, jak płatki owsiane, pestki dyni i nasiona słonecznika oraz siemię lniane, oraz **spajające**, jak sól i woda, a także preparat błonnika pokarmowego Psyllium. Ważny był dobór surowców, będących źródłem wielu naturalnych składników, m.in. niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, węglowodanów złożonych, w tym błonnika pokarmowego, a także związków polifenolowych i innych. Bazową recepturę ustalono, kierując się też potrzebą eliminowania składników, wobec których obecne trendy wskazują na potrzebę ograniczania w codziennej diecie konsumentów; najważniejsze z nich to:

- mąka zawierająca gluten – uzyskanie przekąski o zminimalizowanej zawartości glutenu,
- węglowodany proste (cukier, syropy glukozy-fruktozowe) – uzyskanie produktu niedosłodzanego substancją słodzącą,
- jaja i miód – uzyskanie produktu dla wegan.

Na tym etapie oceniano też zastosowanie różnych preparatów błonnikowych (Rys. 1). Zbadano także właściwości technologiczne ciasta batonowego w zależności od rodzaju preparatu błonnikowego i rodzaju soku NFC oraz jakość otrzymanych produktów.



Rysunek 1. Schemat planu eksperymentu z uwzględnieniem etapów badawczych

ETAP II – dobór metody wytwarzania batonów wieloziarnistych

W tym etapie zastosowano pieczenie w piecu laboratoryjnym przy użyciu form aluminiowych, a następnie silikonowych, a także oceniono przydatność do wytwarzania batonów i oceniono przydatność różnych metod suszenia do wytwarzania batonów, jak konwekcyjne taśmowe, mikrofalowo-konwekcyjne, mikrofalowo-próżniowe (puffing) oraz liofilizacyjne (Rys. 1).

ETAP III – Wpływ modyfikacji składu batonów na właściwości prozdrowotne, wartość odżywczą i kaloryczność, jakość sensoryczną, mikrobiologiczną i przechowalniczą

Modyfikacja składu recepturowego batonów wieloziarnistych miała na celu zwiększenie bezpieczeństwa produktu poprzez zastąpienie wody sokiem i w ten sposób obniżenie pH. Celem stosowania soków była również możliwość modyfikacji cech sensorycznych batonów. Inną modyfikacją była próba zwiększenia zawartości białek poprzez dodatek białka grochowego. Oceniono też dodatek soków NFC lub soku i świeżych wytlóków z jabłek. Na tym etapie wykonana została również ocena jakości mikrobiologicznej batonów oraz właściwości przechowalniczych (Rys. 1).

3. Materiał i metodyka pracy

3.1. Materiał

Materiał do badań stanowiły surowce wykorzystane do produkcji batonów w warunkach laboratoryjnych. Receptura batonów kontrolnych obejmowała: płatki owsiane pełnoziarniste (Kupiec, Polska), pestki dyni (Bakaland, Polska), pestki słonecznika (Bakaland, Polska), siemię lniane (Kresro, Rosja), słód jęczmienny płynny (Ireks, Niemcy). Spośród preparatów błonnikowych dodawano błonnik Psyllium (włókno grube, wielkość cząstek około 40 μm) (GreenField, Polska), błonnik jabłkowy (włókno grube, wielkość cząstek około 40 μm) (GreenField, Polska), błonnik z kakao (włókno grube, wielkość cząstek około 40 μm) (GreenField, Polska), błonnik z czarnej porzeczki (włókno grube, wielkość cząstek około 40 μm) (GreenField, Polska). Soki NFC firmy Oleofarm: z pigwy, aronii, czarnej porzeczki i dzikiej róży zakupiono w sklepie internetowym ze zdrową żywnością. Dodatkowo została ustalona receptura batonów z dodatkiem wytlóków jabłkowych (odmiana Champion) uzyskanych z jabłek otrzymanych podczas wyciskania soku przy pomocy sokowirówki (Gotie Evergreen GSJ-620). Stosowano też dodatek białka grochowego firmy Hortimex.

Tabela 2. Zestawienie kodów batonów w zależności od typu dodanego preparatu błonnikowego i soku NFC jako składnika spajającego (zamiast wody)

Typ batonu ze względu na preparat błonnikowy	Kod	Typ batonu ze względu na składnik wiążący	Kod	Typ batonu ze względu na inny dodatek	Kod
Batony bez błonnika	Baton kontrolny/ Kontrol	Woda	Baton kontrolny /Kontrol	Białko grochowe	BG
Psyllium - bazowy	Psyll/bazowy	Sok z róży NFC	Róża	Świeży sok jabłkowy	Sok jabłkowy
Jabłkowy	Jabłkowy	Sok z czarnych porzeczek NFC	Porzeczka	Świeże wytlóki jabłkowe	Wytlóki jabłkowe
Kakaowy	Kakaowy	Sok z pigwy NFC	Pigwa	-	-
Jabłkowy i Psyllium	Jabł+Psyll	-	-	-	-
Jabłkowy i kakaowy	Jabł+Kakao	-	-	-	-
Z czarnej porzeczki	Porzeczkowy	-	-	-	-

Recepturę batonów określono metodą eksperymentalną. Ustalono następujący skład bazowych batonów: 14,5% płatki owsiane, 13% pestki dyni, 10% nasiona słonecznika, 10% siemienia lnianego, 30,5% wody i 22% słód jęczmienny płynny oraz 6% preparat błonnikowy, tj. błonnik Psyllium. Podjęto też próbę zastąpienia błonnika Psyllium innym preparatem błonnikowym, jak błonnik jabłkowy, kakaowy i z czarnej porzeczki. Przygotowano również 2 mieszanki: błonnika jabłkowego i Psyllium oraz błonnika jabłkowego i kakaowego w proporcji

3:2 (Rys. 1). Oprócz preparatu błonnika jabłkowego oceniono dodatek świeżych wyłoków jabłkowych o znacznej zawartości błonnika.

Wybór metody suszenia batonów opracowano metodą eksperymentalną w oparciu o opinie konsumentów, dostępną aparaturę oraz zakres parametrów poszczególnych stanowisk. Zestawienie kodów batonów w zależności od typu dodanego preparatu błonnikowego i soku NFC jako składnika spajającego (zamiast wody) podano w Tab. 2.

3.2. Metody technologiczne

3.2.1. Technologia wytwarzanych batonów

Składniki suche i mokre odważono na wadze (model, Radwag). Suche składniki mielono w młynku (Bosch MKM6000) przez 20 sekund, tak aby były widoczne części nasion i ziaren. Dodatkowo dla metod suszenia przed zmieleniem nasiona słonecznika i pestki dyni uprażono w piecu w temperaturze 180°C przez 10 min. Uzyskane składniki łączono ze sobą, mieszano przy pomocy robota kuchennego (Kitchenaid) z mieszadłem planetarnym o stopniu prędkości 4 przez 3 minuty, a następnie tak przygotowaną masę pozostawiano na 10 min celu jej wstępnego związania. Następnie masę przekładano do silikonowej foremki z trzema slotami w kształcie prostopadłościanów o wymiarach: 11×4×1,2 cm, co stanowiło kształt projektowanych batonów. Po napełnieniu foremek ciastem batonowym wyrównywano powierzchnię batonów wykorzystując ręczny walek do ciasta. Batony pieczono w rozgrzanym piecu Wachtel Piccolo I w temperaturze 180°C (górną-dół) przez 25 minut, bez zmiany temperatury procesu. W efekcie batony po pieczeniu i schładzaniu w temperaturze pokojowej przez około 60 min, były gotowe do badań lub pakowania, bez potrzeby krojenia.

Uformowane batony poddawano pieczeniu lub suszeniu.

3.2.2. Pieczenie

Uformowane batony, umieszczone w silikonowych foremkach, każdy o wadze około 85 g, pieczono w piecu elektrycznym Wachtel Piccolo (Wachtel Polska Sp. z o.o) przez 25 minut. Temperatura dolnej i górnej części komory pieca wynosiła 180°C. Nie stosowano zaparowania. Po pieczeniu batony schładzaniu w temperaturze pokojowej przez około 60 min, po czym były gotowe do badań lub pakowania, bez potrzeby krojenia.

3.2.3. Suszenie

Suszenie mikrofalowo – konwekcyjne(PROMIS – Tech sp. z o.o., Wrocław). Proces suszenia wspomagany mikrofalami prowadzono w suszarce laboratoryjnej [Mieszkalska i wsp.

2018]. Uformowane batony o masie około 82 ± 1 g układano na tacce i suszono w temperaturze 40°C . Moc generatora mikrofal wynosiła 230W. Wentylator wymuszał stały przepływ powietrza o prędkości 2,0 m/s. Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne prowadzono do momentu uzyskania stanu równowagi potwierdzonego wskazaniem wagi.

Suszenie konwekcyjne w suszarce taśmowej (Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji). Uformowane batony umieszczano na taśmach suszarki, poruszającej się z prędkością 1,7cm/min. Temperatura powietrza wynosiła około 60°C , a proces trwał 3 godziny. Prędkość powietrza suszącego o przepływie współprądowym wynosiła około 2,0 m/s.

Suszenie mikrofalowo-próżniowe (puffing) bez wstępnego suszenia konwekcyjnego (PROMIS – Tech sp. z o.o., Wrocław) [Kowalska i wsp. 2020b]. Proces suszenia mikrofalowo-próżniowego, tzw. *puffing*, przeprowadzono bez wstępnego podsuszania konwekcyjnego, poprzez umieszczenie masy batonowej w silikonowych formach, które następnie mocowano wewnątrz bębna suszarki. Proces odbywał się w 4 cyklach, każdy trwający po 120 sekund, w których temperatura nie przekraczała 80°C , a ciśnienie wynosiło 5,5 kPa. W cyklach 1 i 3 moc mikrofal wynosiła 280 W, a cykle 2 i 4 stanowiły stabilizację (brak mikrofal).

Suszenie liofilizacyjne (CHRIST GAMMA 1-16 LSC) [Ciużyńska i wsp. 2011]. Uformowane batony ważono (82 ± 1 g), a następnie wstępnie zamrażano w zamrażarce szokowej (IRINOX, HCM 51.20, USA) w temperaturze -40°C przez minimum 12 godzin, a następnie poddano suszeniu w liofilizatorze CHRIST GAMMA 1-16 LSC. Temperatura półek grzejnych wynosiła 20°C pod ciśnieniem 63 Pa i ciśnieniem bezpieczeństwa 103 Pa. Czas procesu wynosił 24 godziny.

3.3. Metody analityczne

3.3.1. Oznaczenie zawartości suchej substancji

Zawartość suchej substancji w batonach oznaczono metodą suszenia w suszarce laboratoryjnej (WAMED SUP-65 WG, Polska) w temperaturze 130°C , przez 1 godzinę. Do wysuszonego i zważonego z dokładnością do 0,001g naczynka wagowego odważano około 1 g rozdrobnionej przy pomocy młynka i dokładnie wymieszanej próbki. Naczynko z próbką wstawiano do suszarki, po określonym czasie wyjmowano, studzono i ważono na wadze analitycznej (ME54E/M Metler Polska). Pomiar wykonano w dwóch powtórzeniach. Za wynik uznano średnią z pomiarów.

3.3.2. Oznaczenie aktywności wody

Aktywność wody oznaczano za pomocą urządzenia AQUALAB CX-2 (Decagon Devices Inc., USA). Pomiaru dokonywano w temperaturze $23 \pm 1^\circ\text{C}$. Pomiaru dokonywano w dwóch powtórzeniach, za wynik końcowy uznano średnią z pomiarów.

3.3.3. Oznaczenie barwy

Barwę batonów zmierzono kolorymetrem Konic Minolta CR-300 (obserwator standardowy CIE 2°, iluminat D65, szczelina pomiarowa 8 mm) w systemie CIE $L^*a^*b^*$ oraz CIE $L^*C^*h^\circ$. Pomiar wykonano w 5 powtórzeniach. Za wynik uznano średnią z pomiarów.

Różnicę barwy ΔE określającą różnicę barwy zdefiniowano równaniem:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad [1]$$

gdzie:

ΔL^* , Δa^* , Δb^* - różnice wartości L^* , a^* , b^* między barwą próbki i barwą wzorca. Jako wzorzec barwy użyto próbki kontrolnej (bez błonnika, z wodą jako substancją wiążącą).

Miarę nasycenia C^* i kątową miarę odcienia h° zdefiniowano następującymi wzorami:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [2]$$

$$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad [3]$$

gdzie:

a^* , b^* - współrzędne chromatyczności w przestrzeni barw $L^*a^*b^*$.

3.3.4. Badanie właściwości mechanicznych

Właściwości mechaniczne badano w teksturometrze TA-HD plus (Stable Micro Systems, Wielka Brytania). Test ściskania przeprowadzono za pomocą głowicy o średnicy 75 mm. Do pomiaru stosowano batony o wymiarach $40 \times 25 \times 15$ mm. Prędkość głowicy wynosiła 1 mm/s. Próbkę ściskano do 50% ich wysokości. Pomiar wykonano w 10 powtórzeniach. Test ściskania przeprowadzono dla batonów po 4 godzinach od zakończenia procesu suszenia lub pieczenia. Na podstawie przeprowadzonego testu wyznaczono maksymalną siłę oraz pracę ściskania, obliczoną jako iloczyn połowy pola powierzchni pod krzywą odkształcenia i prędkości przesuwu głowicy.

3.3.5. Test profilowej analizy tekstury (TPA)

Test analizy profilu tekstury wykonano za pomocą teksturometru TA-HD plus (Stable Micro Systems, Wielka Brytania). Pomiar wykonano po 4 godzinach od zakończenia suszenia lub pieczenia. Do pomiaru stosowano batony o wymiarach 25×40×20 mm.

Badane próbki poddano dwukrotnemu ścisaniu do około 50% pierwotnej wysokości. Prędkość głowicy wynosiła 1 mm/s. Pomiar wykonano w 10 powtórzeniach. Na podstawie przeprowadzonego testu wyznaczono mechaniczne wyróżniki tekstury, takie jak: twardość, sprężystość, kohezyjność, gumowatość i żujność, w następujący sposób:

- twardość - maksymalna wartość siły użyta podczas testu [N],
- sprężystość - stosunek czasu ścisania w drugim cyklu do czasu ścisania w pierwszym cyklu testu,
- kohezyjność inaczej ściśliwość - stosunek pracy ścisania w drugim cyklu do pracy ścisania w pierwszym cyklu,
- gumowatość - iloczyn twardości i kohezyjności [N],
- żujność - iloczyn gumowatości i sprężystości [N].

3.3.6. Oznaczenie zawartości karotenoidów i chlorofilu

Oznaczenie zawartości karotenoidów i chlorofilu w próbkach batonów wykonano za pomocą spektrofotometru BECKMAN DU-530 (Beckman, Wielka Brytania). Do badań użyto ekstrakt otrzymany z próbek. W celu otrzymania ekstraktu próbki mielono za pomocą młynka firmy Sencor (model SCG 3050). Następnie rozdrobnioną próbkę odważano do falkonów o pojemności 50 cm³ na wadze analitycznej Sartorius Competence CP 224S-OCE w ilości około 1,0 g z dokładnością do 0,0001 g. Do odważonej próbki dodawano 80% roztwór acetonu w ilości 25 cm³. Tak przygotowane próbki homogenizowano przez 30 sekund przy prędkości obrotowej trzpienia 13500 obr/min w homogenizatorze ULTRA-TURRAX T25 basic (IKA-WERKE, Niemcy). Następnie otrzymany homogenat wirowano przez 3 min przy 7000 obr/min w wirówce laboratoryjnej MPW 375 (MPW-Med-Instruments, Polska). Uzyskany supernatant wykorzystano do badań absorbancji. Pomiaru dokonywano dla chlorofilu A przy długościach fal $\lambda = 663$ nm, dla chlorofilu B $\lambda = 647$ nm oraz przy $\lambda = 470$ nm dla karotenoidów wobec próby ślepej, którą stanowił 80% roztwór acetonu. Oznaczenie wykonano w dwóch powtórzeniach.

3.3.7. Oznaczenie zawartości polifenoli ogółem

Zawartość polifenoli ogółem oznaczono metodą spektrofotometryczną z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteu, która polegała na barwnej reakcji związków polifenolowych z

tym odczynnikiem. Do próbek umieszczonych w falkonach o pojemności 15 cm³ dodawano kolejno: 0,5 cm³ 15% węgla sodu, 8,9 cm³ wody destylowanej, 0,5 cm³ ekstraktu acetonowego próbki (ekstrakt otrzymywano tak samo jak przy oznaczeniu karotenoidów/chlorofili, rozdział 3.3.6), 0,1 cm³ odczynnika Folina-Ciocalteu. Następnie próbkę mieszano i inkubowano przez 45 minut w ciemności (temperatura pokojowa). Po tym czasie dokonano pomiaru absorbancji przy długości fali $\lambda=765$ nm wobec próby ślepej. Próbę ślepą stanowiła próbka, do której dodawano kolejno 0,5 cm³ 15% węgla sodu, 8,9 cm³ wody destylowanej, 0,5 cm³ 80% acetonu, 0,1 cm³ odczynnika Folina-Ciocalteu i inkubowano tak samo jak próbkę właściwą. Oznaczenie wykonano w dwóch powtórzeniach.

3.3.8. Oznaczenie aktywności antyoksydacyjnej

Aktywność antyoksydacyjną oznaczano za pomocą metody spektrofotometrycznej z rodnikiem DPPH. W celu przygotowania próbki do falkonów o pojemności 10 cm³ dodawano kolejno: 2,4 cm³ metanolowego roztworu rodnika DPPH, następnie 0,1 cm³ ekstraktu acetonowego próbek (rozdział 3.3.6.). Próbkę mieszano i inkubowano w temperaturze pokojowej przez 30 minut w ciemności. Po tym czasie mierzono absorbancję przy długości fali $\lambda = 515$ nm wobec próby ślepej. Próbę ślepą stanowiła próbka zawierająca 2,4 cm³ metanolu oraz 0,1 cm³ 80% acetonu.

3.3.9. Ocena właściwości sensorycznych

Ocenę sensoryczną przeprowadził zespół 30 przeszkolonych osób, w wieku od 18 do 60 lat, za pomocą 10-punktowej skali.

Tabela 3. Definicje i określenia brzegowe wyróżników sensorycznych

Wyróżnik	Definicja	Określenia Brzegowe
Barwa	Barwa batonów (wybarwienie)	10 pkt – pożądana, równomierna 0 pkt – niepożądana, nierównomierne wybarwienie powierzchni
Zapach	Intensywność wyczuwanego zapachu	10 pkt – charakterystyczny dla przekąsek zbożowych, łagodny 0 pkt – niewyczuwalny, obcy
Tekstura	Kruchość i porowatość	10 pkt – pożądana, krucha, porowata 0 pkt – niepożądana, niekrucha, nieporowata, zbyt spoista
Smak	Smak odczuwany po rozgryzieniu i przeżuciu	10 pkt – charakterystyczny dla przekąsek zbożowych 0 pkt - niewyczuwalny, obcy
Pożądalność	Ogólne wrażenie jakości batonów	10 pkt – bardzo pożądane 0 pkt - nieakceptowalne

W większości byli to studenci Wydziału Technologii Żywności, którzy zaliczyli przedmiot fakultatywny dotyczący metod oceny sensorycznej żywności. Oceniający zostali poinformowani o rodzaju wymaganych wyróżników i wartościach brzegowych, takich jak smak, barwa, zapach, tekstura i pożądalność ogólna (Tab. 3).

3.3.10. Wyznaczenie izoterm sorpcji

Aby zbadać właściwości sorpcyjne batonów wyznaczono izotermy sorpcji wody. Izotermy zostały wyznaczone metodą statycznie-eksykatorową. Przed umieszczeniem próbek w ekzykatorach były one suszone w suszarce próżniowej pod ciśnieniem 5 kPa przez 24 godziny w temperaturze 50°C. Następnie na wadze analitycznej (ME54E/M Metler Polska) odważano po około 1 g danej próbki (z dokładnością do 0,0001 g) w dwóch powtórzeniach. Próbki batonów umieszczono w 10 ekzykatorach, w których panowały różne warunki wilgotności powietrza. Użyto 10 czynników higrostatycznych (Tab. 4), stanowiących nasycone roztwory soli, zapewniające odpowiednią wilgotność względną powietrza.

Tabela 4. Zestawienie roztworów soli i odpowiadające im aktywności wody w ekzykatorach przygotowanych do wyznaczenia izoterm sorpcji

Numer ekzykatora	Rodzaj substancji	Aktywność wody
1	CaCl ₂ (chlorek wapnia (bezwodny))	0
2	LiCl (chlorek litu)	0,113
3	CH ₃ COOH (kwas octowy)	0,225
4	MgCl ₂ (chlorek magnezu)	0,329
5	K ₂ CO ₃ (węglan potasu)	0,438
6	Mg(NO ₃) ₂ (azotan (V) magnezu)	0,529
7	NaNO ₂ (azotan (III) sodu)	0,648
8	NaCl (chlorek sodu)	0,753
9	(NH ₄) ₂ SO ₄ (siarczan (VI) amonu)	0,810
10	NH ₄ H ₂ PO ₄ (diwodoroortofosforan amonu)	0,93

W celu uniknięcia rozwoju mikroflory niepożądaney, w ekzykatorach o wysokiej aktywności wody umieszczono tymol. Ekzykatory z próbkami przetrzymywano przez 3 miesiące w stałej temperaturze 25°C pod ciśnieniem atmosferycznym. Następnie próbki ponownie zważono. Na podstawie tych danych wyznaczono równowagową zawartość wody w batonach:

$$u = \left[\frac{d}{\frac{b}{c^a}} - 1 \right] \cdot 100 \quad [4]$$

gdzie:

u - równowagowa zawartość wody [g H₂O/100 g s.s.]

a - początkowa masa próbki w ekzykatorze z CaCl₂ [g],

b - końcowa masa próbki po 3 miesiącach przechowywania w eksykatorze z CaCl₂ [g],

c - początkowa masa próbki z eksykatora z określonym roztworem soli [g],

d - końcowa masa próbki po 3 miesiącach przetrzymywania w eksykatorze z określonym roztworem [g].

Uzyskane dane opisano modelami BET oraz GAB, parametry każdego z modeli oszacowano przy użyciu programu do analizy danych TableCurve 2D V5.01 .

Model BET [Timmermann i wsp. 2001, Gondek i wsp. 2010]:

$$u = \frac{u_m C a_w}{(1-a_w)[1+(C-1)a_w]} \quad [5]$$

Model GAB [Timmermann i wsp. 2001, Gondek i wsp. 2010]:

$$u = \frac{u_m C k a_w}{(1-k a_w)[1+(C-1)k a_w]} \quad [6]$$

gdzie:

a_w – aktywność wody,

u – równowagowa zawartość wody [g H₂O/100 g s.s.],

u_m – zawartość wody w monowarstwie [g H₂O/100 g s.s.],

k, C – parametry równania.

3.3.11. Wyznaczenie kinetyki sorpcji

W celu zbadania właściwości sorpcyjnych wyznaczono również kinetykę sorpcji. Przed umieszczeniem próbek w eksykatorach były one suszone w suszarce próżniowej (Memmert) pod ciśnieniem 5 kPa przez 24 godziny w temperaturze 50°C. Następnie na wadze analitycznej (ME54E/M Metler Polska) odważono po około 1 g danej próbki (z dokładnością do 0,0001 g) w dwóch powtórzeniach. Próbki umieszczono w eksykatorze o aktywności wody *a_w* = 1,00. Badanie trwało 30 godzin. Próbki były ważone po 15, 30, 45, 60 minutach oraz po 2, 3, 6, 10, 24 i 30 godzinach.

Uzyskane dane opisano modelem Pelega. Parametry modelu oszacowano przy użyciu programu TableCurve 2D V5.01. Model Pelega [Gondek i wsp. 2010]:

$$u = C a_w^B + D a_w^E \quad [7]$$

gdzie:

a_w – aktywność wody,

u – równowagowa zawartość wody [g H₂O/100 g s.s.],

B, C, D, E – parametry równania.

3.3.12. Określenie wartości energetycznej batonów

W celu obniżenia wartości energetycznej batonów zastosowano białko grochowe (8%), przy jednoczesnym obniżeniu zawartości płatków owsianych, pestek dyni, nasion słonecznika i siemienia lnianego względem bazowego składu. Oznaczenie wartości energetycznej batonów zostało wykonane w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie. Polegało na wykonaniu obliczeń w oparciu o wartości energetyczne oznaczonych wcześniej składników, takich jak białka, tłuszcze, węglowodany i błonnik. Wszystkie oznaczenia wykonano zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 [Rozporządzenie 2011/1169].

3.3.13. Określenie właściwości przechowywalniczych

W celu określenia zmian wybranych wskaźników jakości podczas przechowywania, batony pakowano w folię przeznaczoną do kontaktu z żywnością, a następnie zgrzewano i umieszczono w cieplarni w temperaturze pokojowej 22°C i przetrzymywano przez 6 dni. Pomiar masy próbek oraz ich aktywność wody wykonywano w odstępach 2-dniowych, tj. w momencie rozpoczęcia badania, po 2 dniach, po 4 dniach oraz po 6 dniach. Ubytek masy określano jako wartość względną procentową w stosunku do masy początkowej próbek.

3.3.14. Jakość mikrobiologiczna

Badania jakości mikrobiologicznej wykonywano bezpośrednio po produkcji (czas „0”) oraz po 7 i 14 dniach przechowywania w warunkach imitujących warunki handlowe (temperatura pokojowa 25°C). Badania wykonano w Katedrze Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności. Do oznaczeń każdorazowo pobierano po 20 g surowców lub gotowych batonów oraz wykonywano odpowiednie rozcieńczenia z wykorzystaniem roztworu soli fizjologicznej. Następnie w zależności od oznaczenia, na szalkę Petriego przenoszono 1 cm³ lub 0,1 cm³ przygotowanych rozcieńczeń oraz zalewano płytki odpowiednimi podłożami. Płytki inkubowano w odpowiednich warunkach, zależnie od rodzaju oznaczanych drobnoustrojów, w temperaturze 28 lub 37°C. Po upływie wymaganego czasu inkubacji zliczano wyrosłe kolonie oraz wykonywano identyfikację wyizolowanych szczepów na podstawie wybranych cech biochemicznych oraz morfologicznych.

Przed wykonaniem posiewów sporządzano rozcieńczenia [PN-EN ISO 6887-4:2017-05], pobierając 20 g surowca lub batonów w warunkach jałowych i wprowadzając te naważki do 180 cm³ roztworu soli fizjologicznej. Oznaczenie ogólnej liczby drobnoustrojów tlenowych

mezofilnych przeprowadzano zgodnie z Polską Normą [PN-EN ISO 4833-1:2013-12]. Na szalki Petriego wprowadzano po 1 cm³ roztworu z rozcieńczenia R=10⁻¹ lub z rozcieńczenia R=10⁻². Wszystkie szalki zalewano podłożem PCA, a następnie mieszano i inkubowano w temperaturze 28°C przez 48 godzin, po czym zliczano wyrosłe kolonie. Oznaczenie wykonywano w dwóch powtórzeniach. Liczbę mezofilnych drobnoustrojów tlenowych (w 1 cm³) wyznaczano korzystając ze wzoru:

$$N = \frac{\Sigma C}{V(n_1+0,1n_2+0,01n_3)d} \quad [8]$$

gdzie:

ΣC – suma kolonii na wszystkich płytkach z kolejnych rozcieńczeń,

V – objętość posiewu naniesionego na płytkę [1 cm³],

n_1 – liczba płytek z pierwszego liczonego rozcieńczenia,

n_2 – liczba płytek z drugiego liczonego rozcieńczenia,

n_3 – liczba płytek z trzeciego liczonego rozcieńczenia,

d – współczynnik rozcieńczenia, odpowiadający pierwszemu uzyskanemu rozcieńczeniu.

Oznaczenie liczby drożdży i pleśni [PN-ISO 21527-2:2009] wykonano umieszczając na szalkach Petriego po 1 cm³ zawiesiny z rozcieńczeń R=10⁻¹ lub R=10⁻², następnie wszystkie szalki zalewano podłożem Sabourauda. Zawartość szalki mieszano poprzez wykonywanie na blacie stołu okrężnych ruchów. Po zestaleniu, szalki poddawano inkubacji w temperaturze 28°C przez 5 dni, a następnie zliczano kolonie grzybów (drożdży i pleśni). Oznaczenie wykonywano w dwóch powtórzeniach. Liczbę drożdży i pleśni oznaczano korzystając ze wzoru [8].

Oznaczenie liczby gronkowców koagulazo-dodatnich przeprowadzano zgodnie z normą [PN-EN ISO 6888-1:2022-03]. Na szalki Petriego wprowadzano po 1 cm³ roztworu z przygotowanego rozcieńczenia R=10⁻¹, a następnie zalewano podłożem Baird-Parkera i mieszano wykonując szalką okrężne ruchy na blacie stołu. Po zestaleniu podłoża szalki inkubowano w temperaturze 37°C przez 48 godzin. Po inkubacji liczono czarne, otoczone strefą rozjaśnienia kolonie. Oznaczenie wykonywano w dwóch powtórzeniach. Liczbę gronkowców oznaczano korzystając ze wzoru [8].

Oznaczenie liczby bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* przeprowadzano zgodnie z normą [PN-EN ISO 21528-2:2017-08]. Na szalki Petriego wprowadzano 1 cm³ zawiesiny z przygotowanego rozcieńczenia R=10⁻¹. Wszystkie szalki zalewano podłożem VRBG oraz mieszano poprzez wykonywanie na blacie stołu okrężnych ruchów szalką. Po zestaleniu podłoża inkubowano w temperaturze 37°C przez 48 godzin. Następnie zliczano wyrosłe kolonie. Oznaczenie wykonywano w dwóch powtórzeniach. Liczbę bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* oznaczano korzystając ze wzoru [8].

Oznaczenie liczby bakterii przetrwalnikujących [PN-EN ISO 7932:2005] wykonywano przez przygotowanie rozcieńczenia surowców oraz produktów ($R=10^{-1}$) i poddawaniu pasteryzacji w 80°C przez 10 minut. Następnie na szalki Petriego wprowadzano po 1 cm^3 spasteryzowanej zawiesiny z rozcieńczenia $R=10^{-1}$. Każdą szalkę zalewano podłożem PCA oraz mieszano, wykonując szalką okrężne ruchy na blacie stołu. Po zestaleniu podłoża, inkubowano szalki w temperaturze 37°C przez 48 h. Następnie zliczano kolonie. Oznaczenie wykonywano w dwóch powtórzeniach. Liczbę bakterii przetrwalnikujących oznaczano korzystając ze wzoru [8].

3.3.15. Oznaczenie składu kwasów tłuszczowych

Oznaczanie składu kwasów tłuszczowych w tłuszczu wydzielonym z batonów wykonano w Zakładzie Technologii Tłuszczów i Koncentratów Spożywczych. Wstępnie tłuszcz poddano zmydleniu zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie PN-EN ISO 12966-2:2017-05 [Żbikowska i wsp. 2022]. Tak przygotowane estry metylowe kwasów tłuszczowych poddano analizie metodą chromatografii gazowej w układzie gaz-ciecz, zgodnie z zaleceniami zawartymi w normach ISO [PN-EN ISO 12966-1:2015-01, PN-EN ISO 12966-4:2015-07]. Stosowano chromatograf gazowy firmy Agilent Technologies model 6890 II z oprogramowaniem ChemStation, wyposażony w detektor płomieniowo-jonizacyjny. Do rozdzielania estrów zastosowano wysoko polarną kolumnę kapilarną firmy SGE o symbolu BPX 70.

3.3.16. Metody statystyczne

Wpływ rodzaju zastosowanego preparatu błonnikowego i metody wytwarzania batonów (pieczenie, suszenie) oraz modyfikacje receptury, jak zastąpienie wody (składnika wiążącego) sokami NFC i dodatek białka grochowego na właściwości batonów obliczono przy użyciu programu Statistica 13PL, przeprowadzając analizę statystyczną otrzymanych wyników. Zastosowano jedno- lub dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA. W celu wyznaczenia grup homogenicznych skorzystano z testu post-hoc Tukey'a przy poziomie istotności $\alpha=0,05$.

4. Omówienie i dyskusja wyników

4.1. Opracowanie receptury i technologii wytwarzania przekąskowych batonów wieloziarnistych, kontrolnych (ETAP I)

Przed przystąpieniem do opracowania receptury i metody ich otrzymywania batonów sprawdzono dostępną literaturę i oceniono, że zarówno receptura, jak i metody wytwarzania są bardzo zróżnicowane [Estévez i wsp. 1995, Farinazzi-Machado i wsp. 2012, da Silva i wsp. 2014, Bchir i wsp. 2018, Carvalho i Conti-Silva 2018]. Jednakże, metody wytwarzania batonów były ściśle powiązane z użytymi składnikami, zwłaszcza wiążącymi.

Na etapie wstępnym wybrano składniki, a następnie podjęto próbę opracowania receptury batonów i technologii ich wytwarzania, by po wypieczeniu otrzymać lekko miękkie przekąski. Założono wytwarzanie batonów bez udziału mąki, jaj i cukru. Lekko słodki smak mógł pochodzić ze składników lub dodatku ekstraktu słodu jęczmiennego. W doborze receptury batonów kontrolnych zastosowano metodę eksperymentalną. Ustalając proporcje poszczególnych składników oceniano zwięźłość ciasta batonowego i łatwość jego formowania. Dodatek ekstraktu słodowego miał na celu zwiększenie kleistości ciasta batonowego, a także ujednoczenie barwy batonów, która była zróżnicowana ze względu na charakterystyczną barwę poszczególnych składników. Belcar i wsp. [2022] wykazali, że dodatek mąki słodowej wpływa na porowatość miękiszu pieczywa i zwiększenia liczby dużych porów w miękiszu chleba ze względu na zwiększoną aktywność amylaz, które wpływają na przebieg procesu fermentacji i powodują stosunkowo wysoką zawartość CO₂ w cieście. W przypadku ekstraktu słodu obróbka termiczna w procesie jego otrzymywania powinna wykluczyć obecność tych enzymów. Dlatego oceniano, że dodatek ekstraktu słodowego może wpłynąć korzystnie na smak i teksturę batonów.

W **I etapie** opracowano recepturę batonów kontrolnych. Badania wstępne zaczęto od zastosowania w recepturze pełnoziarnistych płatków owsianych, nasion słonecznika, pestek dyni, siemienia lnianego, wody i słodu jęczmiennego w proporcjach podanych na Rys. 1.



Rysunek 2. Zdjęcie przykładowej foremki silikonowej użytej do wypieku batonów wieloziarnistych

Do uzyskania produktu gotowego do spożycia, ciasto batonowe poddawano tradycyjnemu pieczeniu w piecu Wachtel PICCOLO I w temperaturze 180°C (nagrzane góra i dół piekarnika) przez 30 min. Początkowo, batony formowano, rozwałkowując i wypełniając ciastem blachę metalową na wysokość około 1,2 cm (Rys. 36/Aneks). Wypieczone płyty krojono na kształt batonów o wymiarach około 11×4×1,2 cm (Rys. 37/Aneks). Następnie wykorzystano silikonowe foremki z 6 wgłębieniami w kształcie prostopadłościanów o wymiarach wewnętrznych 11×4×1,2 cm (Rys. 2 i Rys. 38/Aneks). Foremki te wykorzystywano do pieczenia batonów w kolejnych etapach badawczych. Wypełniano je ciastem przed pieczeniem i otrzymywano batony o wymiarach 11×4×1,2 cm, bez potrzeby krojenia po pieczeniu. Początkowo proces trwał 15 minut. Batony były jednak zbyt miękkie, zbyt mokre, rozpadały się i przyklejały do spodniej części formy. Uznano, że wykazywały cechy batonów niedopieczonych. W kolejnej próbie wydłużono czas pieczenia do 25 minut, bez zmiany temperatury procesu. W tej próbie uzyskano batony odpowiednio upieczone. Odznaczały się równomierną barwą, charakterystyczną teksturą dla przekąsek wieloziarnistych z lekko wyczuwalnym zapachem pieczywa. Pojedyncze batony przed wypiekiem ważyły 82±5 g, a po wypieku masa batonów wynosiła 77±5 g (Rys. 39/Aneks). Wykorzystując taką samą recepturę i silikonowe foremki jak dla batonów pieczonych, uformowane batony poddano suszeniu metodą mikrofalowo-konwekcyjną (MK) przez 30 minut w temperaturze 40°C, przy mocy mikrofal 230 W i prędkości powietrza 2,0 m/s.

4.2. Wstępna ocena batonów kontrolnych otrzymanych metodą wypieku (forma aluminiowa) oraz suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego

Bezpośrednio po pieczeniu lub suszeniu batony oceniono wizualnie i zmierzono zawartość i aktywność wody, pH oraz parametry barwy, a wyniki zestawiono w Tab. 5.

Tabela 5. Wybrane wskaźniki jakościowe batonów kontrolnych otrzymanych metodą wypieku w formie aluminiowej oraz suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego; oznaczenia kodów jak w Tab. 2

Metoda wytwarzania	Zawartość wody [%]	Aktywność wody	pH	Parametry barwy				
				L*	a*	b*	C	h°
Piec	23,30 ±0,81	0,834 ±0,002	6,40 ±0,20	43,24 ±0,57	8,20 ±0,01	14,39 ±0,21	17,58 ±0,40	61,10 ±2,30
MK	24,10 ±0,83	0,860 ±0,003	6,70 ±0,20	45,50 ±0,61	7,50 ±0,01	14,50 ±0,23	16,90 ±0,38	64,00 ±2,42

Obydwa rodzaje batonów stanowiły zwartą całość, dawały się łatwo przełamać. Ponadto batony były atrakcyjne wizualnie i sensorycznie. Batony pieczone charakteryzowały się lekkim

zwiększeniem objętości, dość twardą, ale chrupiącą skórką oraz delikatnie miękkim miękiszem, który po naciśnięciu powracał do pierwotnego kształtu. Świadczyło to o odpowiednim upieczeniu batonów. Batonysuszone były w całej objętości bardziej twarde, lekko skurczone. Jasno-brązowo-złocista barwa obydwu batonów była dość atrakcyjna, widoczne były częściowo rozdrobnione kawałki składników ziarnistych, które nadawały batonom cechy żywności bardziej naturalnej. Batonys otrzymane metodą suszenia oraz pieczone odznaczały się zbliżonymi wartościami badanych wskaźników, zwłaszcza zawartości wody, a nieznacznie wyższe, o około 3%, wartości aktywności wody i 4,5% odnośnie odczynu pH, dotyczyły batonów otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego. W porównaniu z suszeniem, w czasie którego temperatura nie mogła przekroczyć 80°C (po jej przekroczeniu suszenie było wyłączane automatycznie), znacznie wyższa temperatura pieczenia (180°C) miała wpływ na nieznaczne pociemnienie barwy miękiszu batonów i przyjęcie tonu barwy h° w zakresie czerwieni, stąd nieznacznie większy udział barwy czerwonej a^* . Wysoka temperatura zwiększa możliwość tworzenia związków będących wynikiem różnych reakcji (utleniania, denaturacji i hydrolizy), a także reakcji Maillarda i karmelizacji. Według Ajandouz i wsp. [2008] produkty tych reakcji kształtują właściwości strukturalne jak miękkość lub twardość, a także porowatość, właściwości sorpcyjne i sensoryczne (smak, zapach, barwa) oraz ogólną atrakcyjność produktu.

Zaobserwowano, że chociaż po pieczeniu i suszeniu batony były akceptowalne pod względem ogólnego wyglądu i tekstury, masa batonowa nie była wystarczająco zwięzła i kruszyła się podczas formowania. Należało więc poprawić te cechy technologiczne wytwarzania batonów. W tym celu w kolejnym **ETAPIE IA** skupiono się na modyfikacji receptury batonów przez dodatek błonnika pokarmowego i ocenie produktu z zastosowaniem pieczenia.

Stosując dodatek błonnika w produkcji batonów ważną kwestią jest odpowiednie dopracowanie receptury ciasta [Masiarz i wsp. 2019]. Użyte składniki powinny zapewniać wysoką wartość żywieniową, ale również w połączeniu z innymi czynnikami nadawać atrakcyjny smak, zapach, wygląd oraz teksturę. Odpowiedni udział i rodzaj błonnika determinuje uzyskanie pożądanych cech produktu poprzez regulację uwodnienia, zarówno masy batonowej, jak i wytworzonych batonów. Cechy te można opisać takimi wielkościami, jak zdolność zatrzymywania i wiązania wody, pęcznienie i rozpuszczalność [Masiarz i wsp. 2019]. Składniki ziarniste (suche) muszą zostać odpowiednio związane, tak żeby pozostała widoczna ich odpowiednia granulacja. Różne typy błonnika wykazują inne cechy użytkowe, więc ich przydatność produkcyjna powinna być zbadana i dopasowana.

4.3. Wpływ modyfikacji receptury I na właściwości technologiczne wytwarzania ciasta batonowego z dodatkiem preparatów błonnikowych i soków NFC (ETAP IA)

W celu poprawy zwięzłości ciasta batonowego zmodyfikowano recepturę batonów **kontrolnych**, dodając preparat błonnikowy Psyllium w ilości 5 g (6%), przy nieznacznym zmniejszeniu pozostałych składników ziarnistych. W ten sposób otrzymano skład batonów, zwanych **bazowymi** (Rys. 1). Dodatek błonnika Psyllium okazał się przydatny w wielu zabiegach technologicznych, m.in. w piekarstwie i cukiernictwie do poprawy struktury wyrobów [Sangnark i Noomhorm 2004, Yangilar 2013, Godula i wsp. 2019]. Dzięki właściwościom wiążącym, zagęszczającym i teksturyzującym błonnika Psyllium ciasto batonowe, a także batony po obróbce termicznej wykazywały znacząco lepszą zwięzłość i zwartość, w porównaniu do batonów kontrolnych. Dodatkowo, udział tego błonnika wpłynął na zwiększenie korzyści zdrowotnych, gdyż, jak podano w wielu publikacjach, wspomaga on profilaktyczne działanie przeciw niektórym chorobom przewodu pokarmowego, układu krwionośnego i serca [Godula i wsp. 2019]. Zawartość błonnika w gotowych batonach na poziomie 6 g/100 g produktu (lub 3 g błonnika/100 kcal) pozwala na oznakowanie opakowania produktu określeniem „wysoka zawartość błonnika” [EFSA 2010, Głowala 2021].

Oprócz preparatu błonnikowego Psyllium zastosowano również inne handlowe preparaty błonnikowe, jak jabłkowy, kakaowy, z czarnej porzeczki i hibiskusa oraz sporządzono dwie mieszanki błonników o udziale 2:3 (większy udział jabłkowego). Za wyjątkiem zastosowania preparatu z hibiskusa, przy wykorzystaniu pozostałych błonników uzyskano odpowiednią spójność ciasta batonowego. Dlatego w dalszych badaniach zaprzestano stosowanie preparatu błonnikowego z hibiskusa. Batony z pozostałymi błonnikami po pieczeniu zyskały bardziej atrakcyjny smak, aromat, teksturę oraz wygląd zewnętrzny (Rys. 40/Aneks).

4.4. Wpływ rodzaju błonnika i rodzaju soku NFC na profil tekstury masy batonowej

Masa batonowa to mieszanka składników ziarnistych i spajających (płynnych), przygotowana do uformowania batonów i wypieku. Na etapie projektowania receptury batonów dążono do uzyskania masy, która byłaby zwięzła, nie kruszyła się i dała się łatwo formować. W tym celu uzyskano recepturę batonów bazowych z dodatkiem błonnika Psyllium w ilości 6%. Ponadto, w takim samym udziale zastosowano inne preparaty błonnikowe w formie mieszanki dwóch preparatów błonnika jabłkowego i Psyllium oraz jabłkowego i kakaowego, a także błonnika z czarnej porzeczki. Przydatność tych błonników oceniono na podstawie oceny tekstury ciasta batonowego (Tab. 6). Badaniu poddano także batony z innymi niż woda

składnikami wiążącymi w postaci soków NFC, tj. z róży, pigwy i czarnej porzeczki, które dodano do „kontrolnej” masy batonowej, bez błonnika (Tab. 6, Rys. 41/Aneks).

Dodatek błonnika wpłynął istotnie na wszystkie badane parametry tekstury TPA (Tab. 6). Wartości poszczególnych wskaźników batonów z błonnikami mieściły się w zakresach: twardość 1,81-2,81 N, sprężystość 0,94-1,02, kohezynność 0,69-0,84, gumiaistość 1,31-2,32 N i żujność 1,26-2,16 N.

Tabela 6. Wpływ rodzaju błonnika i składnika wiążącego na parametry profilu tekstury TPA masy batonowej (Tab. 21 /Aneks); pogrubiona czcionka dotyczy największych wartości wskaźników

Typ błonnika w masach batonowych	Składnik wiążący woda/sok NFC	Parametry profilu tekstury TPA				
		Twardość [N]	Sprężystość	Kohezynność	Gumiaistość [N]	Żujność [N]
Kontrol	Woda	1,46 ^c ± 0,03	0,89 ^a ± 0,02	0,61 ^c ± 0,02	0,90 ^a ± 0,03	0,82 ^b ± 0,03
Psyll (Bazowy)		2,81^b ± 0,06	1,00 ^{bc} ± 0,02	0,81 ^b ± 0,02	2,32^b ± 0,05	2,16^a ± 0,06
Jabł+Psyll		2,76 ^{ab} ± 0,11	1,02^c ± 0,02	0,69 ^a ± 0,02	1,84 ^c ± 0,06	1,84 ^d ± 0,06
Jabł+Kakao		1,81 ^d ± 0,04	0,96 ^{abc} ± 0,03	0,73 ^a ± 0,02	1,31 ^d ± 0,03	1,26 ^c ± 0,03
Porzeczkowy		2,56 ^a ± 0,12	0,94 ^{ab} ± 0,04	0,84^b ± 0,03	2,14 ^e ± 0,09	2,07 ^a ± 0,05
Kontrol	Pigwa	1,49 ^A ± 0,07	0,95 ^A ± 0,04	0,84 ± 0,03	1,26 ^A ± 0,05	1,17 ^A ± 0,03
	Róża	1,58 ^A ± 0,04	0,96^A ± 0,03	0,83 ± 0,02	1,31 ^A ± 0,04	1,24 ^{AB} ± 0,05
	Porzeczka	1,82^B ± 0,07	0,87 ^B ± 0,02	0,86 ± 0,01	1,52^B ± 0,02	1,33^B ± 0,03

Oznaczenia w kolumnach a,b,c.. dotyczą wpływu typu błonnika, A,B - wpływu soku NFC; grupy homogeniczne przy $p \leq 0,05$; brak oznaczeń, gdy $p > 0,05$

Każdy z wymienionych wyróżników tekstury, po zastosowaniu dowolnego rodzaju błonnika uległ podwyższeniu (Tab. 6). Stwierdzono, że największą twardością, gumiaistością i żujnością odznaczała się masa batonowa z błonnikiem Psyllium, zaś najmniejszymi wartościami tych parametrów masa batonowa z mieszanką błonnika Jabł+Kakao. Największą sprężystość stwierdzono w masie z mieszanką błonników Jabł+Psyll, zaś najmniejszą w masie z błonnikiem porzeczkowym. Dokładnie odwrotną zależność otrzymano w przypadku kohezynności.

Dodatek składnika wiążącego, czyli soków NFC z dzikiej róży, pigwy lub czarnej porzeczki, miał istotny wpływ na parametry tekstury TPA, z pominięciem kohezynności (Tab. 6). Zaobserwowano, że zastosowanie soku z porzeczki spowodowało uzyskanie najwyższych wartości twardości, kohezynności, gumiaistości i żujności, a jednocześnie najmniejszej sprężystości. We wszystkich przypadkach masa batonowa zawierająca sok porzeczkowy znalazła się w odrębnej grupie homogenicznej w odniesieniu do dwóch pozostałych, tj. z

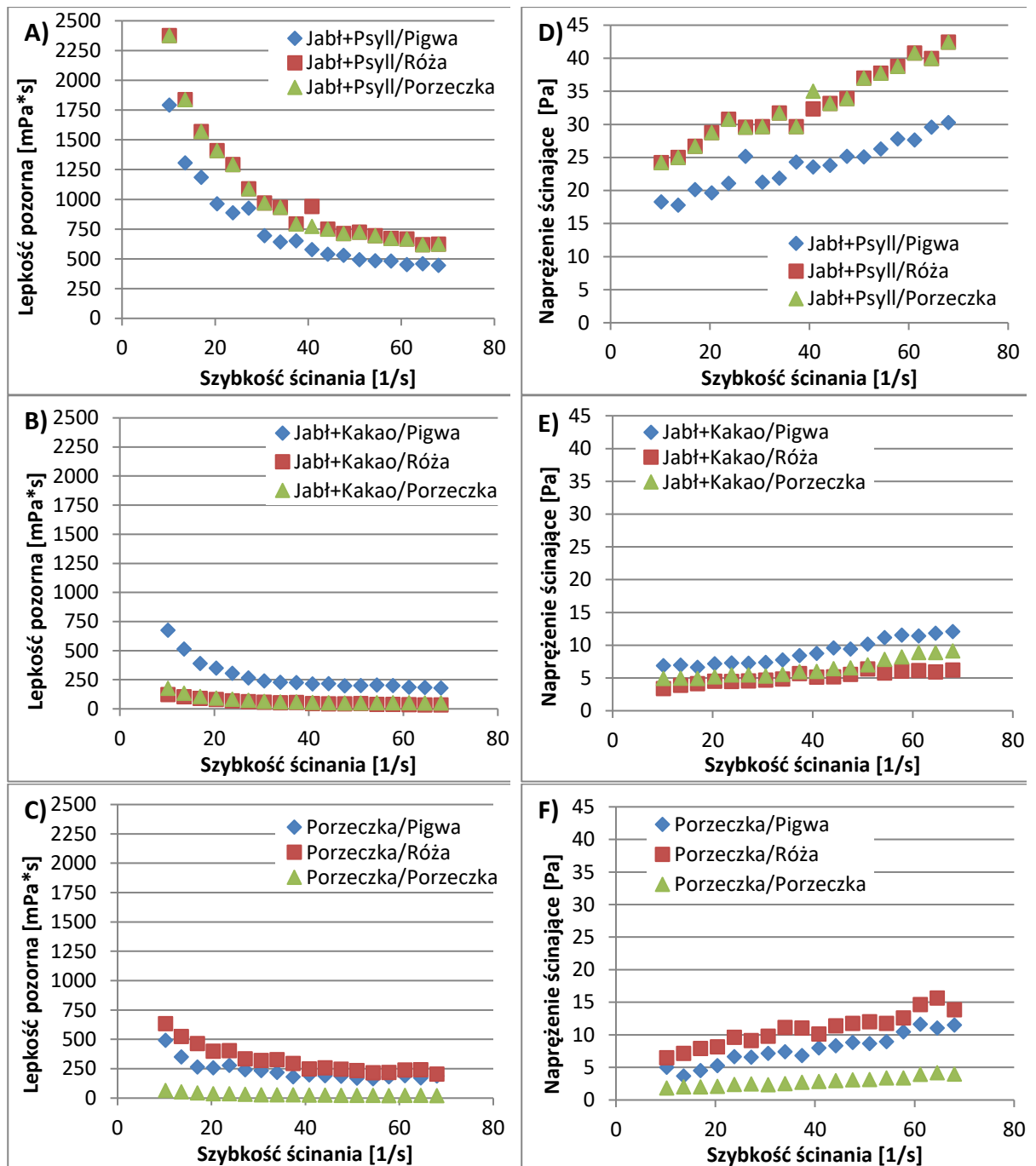
sokiem z pigwy oraz dzikiej róży. W przypadku żujności, masa z sokiem z dzikiej róży nie różniła się istotnie od pozostałych analizowanych batonów z innymi sokami.

Na podstawie powyższych wyników TPA można stwierdzić, że rodzaj dodanego błonnika w większym stopniu wpływał na zróżnicowanie właściwości masy batonowej niż zastosowanie soku NFC zamiast wody. Zastosowanie preparatu błonnikowego Psyllium do ciasta batonowego wpłynęło na uzyskanie wysokich wartości badanych wskaźników TPA (najwyższych, oprócz kohezji i sprężystości). W większości badanych wskaźników TPA (oprócz sprężystości w przypadku soku z porzeczki) zastąpienie wody sokiem wpłynęło na uzyskanie większych wartości. Można wnioskować, że zastąpienie wody sokiem NFC umożliwia kształtowanie właściwości ciasta batonowego, jednak w mniejszym stopniu niż dodatek preparatu błonnikowego, a najsilniejszy efekt miały preparaty błonników Psyllium oraz porzeczki.

W literaturze naukowej trudno odnaleźć podobne badania dotyczące określenia wpływu preparatów błonnikowych lub soków jako składników wiążących na właściwości i technologię wytwarzania batonów. W badaniach Rahman i Al-Farsi [2005] analizowano wpływ wilgotności suszonych daktyli na profil TPA. Wykazano, że twardość i żujność wzrastały wykładniczo wraz ze zmniejszeniem zawartości wilgoci, podczas gdy kohezja i sprężystość najpierw wzrastały wykładniczo wraz ze zmniejszeniem zawartości wilgoci wykazując maksymalną wartość przy krytycznej zawartości wilgoci 21,5%, natomiast poniżej krytycznej zawartości wilgoci następowało gwałtowne zmniejszenie wartości wspomnianych atrybutów tekstury.

4.5. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego i rodzaju soku NFC na właściwości reologiczne masy batonowej

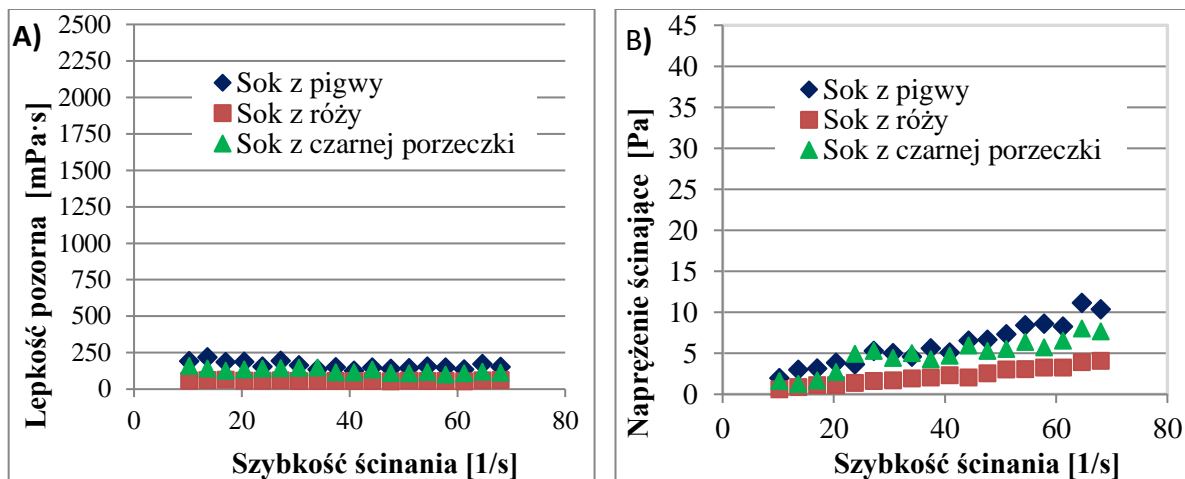
Znajomość parametrów reologicznych płynnych lub półpłynnych produktów spożywczych jest niezwykle ważna w projektowaniu procesów, jak również na etapie oceny jakości półproduktów. Zbadano zależność lepkości pozornej od szybkości ścinania oraz naprężenia ścinającego od szybkości ścinania masy batonowej przed obróbką termiczną (Rys. 3). Na wykresach zestawiono wyniki badań masy batonowej z dodatkiem preparatów błonnikowych, tj. mieszanek błonnika jabłkowego i Psyllium oraz jabłkowego i kakaowego, a także z błonnika z czarnej porzeczki. Wszystkie badane masy batonowe zawierały dodatek soków NFC. Ponadto analizie poddano same soki NFC, tj. z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki (Rys. 4).



Rysunek 3. Wpływ rodzaju błonnika i składnika wiążącego (soki NFC z pigwy, róży oraz czarnej porzeczki): A), D) mieszanki błonników Jabł+Psyll i B), E) mieszanki błonników Jabł+Kakao oraz C), F) błonnika z czarnej porzeczki na zależność lepkości pozornej od szybkości ścinania (A-C) oraz naprężenia ścinającego od szybkości ścinania (D-F) masy batonowej

Oceniając wpływ rodzaju błonnika w postaci dwóch mieszanin Jabł+Psyll, Jabł+Kakao oraz z czarnej porzeczki, a także wpływ składnika wiążącego w postaci soków NFC z pigwy, róży oraz czarnej porzeczki na badane próbki masy batonowej, zaobserwowano zmniejszenie lepkości pozornej w funkcji szybkości ścinania (Rys. 3A-C). Oznacza to, że następowało rozrzedzanie ścinaniem, natomiast w przypadku naprężenia stycznego zanotowano jego wzrost

wraz z rosnącą szybkością ścinania (Rys. 3D-F). Przebieg otrzymanych zależności jest charakterystyczny dla płynów nieniutonowskich plastyczno-lepkich [Sitkiewicz i wsp. 2008]. Zaobserwowano istotny wpływ rodzaju błonnika na te wskaźniki. Istotnie wyższe wartości stwierdzono przy zastosowaniu mieszanki błonników Psyllium i jabłkowego.



Rysunek 4. Zależność: A) lepkości pozornej oraz B) naprężenia ścinającego od szybkości ścinania soków NFC z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki

Parametry reologiczne żywności, w tym ciasta batonowego, zależą od wielu czynników, m.in. składu chemicznego, obecności cząstek stałych i ich wielkości. Masa batonowa jest pastowatą mieszaniną składników o zróżnicowanej wielkości cząstek wskutek nierównomiernego, tylko częściowego rozdrobnienia, tzw. składników suchych. Miało to na celu zachowanie możliwości rozpoznania (widoczności) udziału, np. pestek dyni lub nasion słonecznika, by w ten sposób wykazać większą naturalność produktu. Lepkość masy może wynikać z udziału głównie węglowodanów [Nindo i wsp. 2005], w tym pektyn, ale też białek i tłuszczu zawartych w sokach, jak i dostępnych po rozdrobnieniu niektórych składników ziarnistych. Siemię lniane to składnik batonów, który może odgrywać ważną rolę, wpływając na konsystencję ciasta ze względu na łatwość żelowania. Tłuszcz zawarty w surowcach, jak siemię lniane, pestki dyni i nasiona słonecznikowy, prawdopodobnie wpływa również korzystnie na formowanie ciasta batonowego.

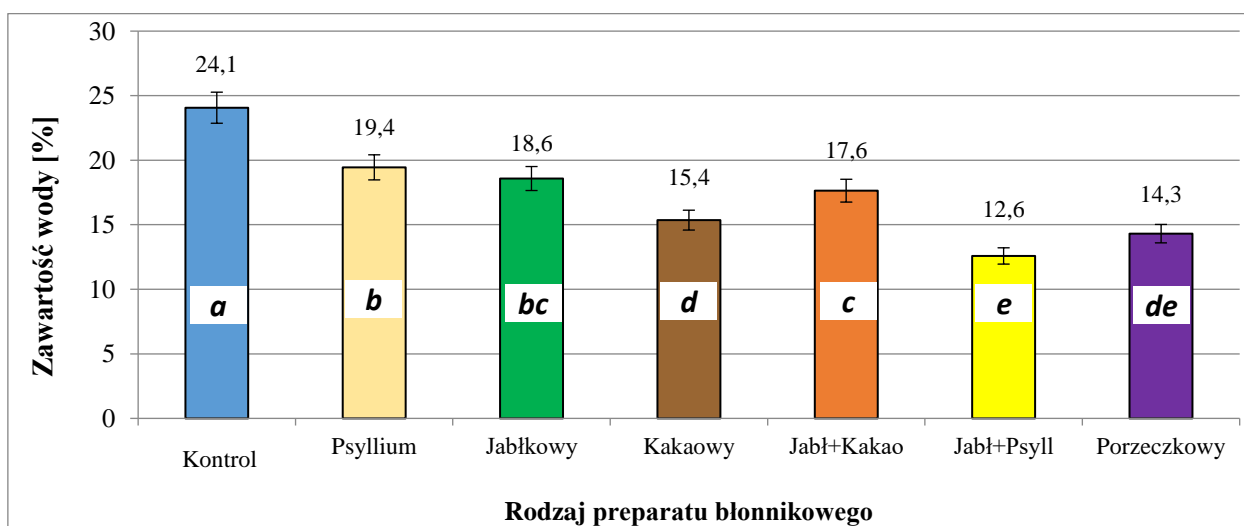
Jednym z najważniejszych czynników wpływających na właściwości reologiczne ciasta batonowego był rodzaj preparatu błonnikowego. Po dodaniu cieczy jako składnika wiążącego w postaci wody lub soków NFC, również zawierających znaczną ilość wody, wszystkie składniki mogły się częściowo rozpuszczać i tworzyć kleistą masę. Jednak lepkość i naprężenie ścinające soków NFC były nawet 10 krotnie niższe niż masy batonowej (Rys. 3, 4). Ponadto masa batonowa mogła zawierać pęcherzyki powietrza. Preparat błonnika Psyllium, w

połączeniu z błonnikiem jabłkowym, wykazywał największy wpływ na lepkość pozorną i naprężenie ścinające ciasta batonowego, zwłaszcza z sokiem jabłkowym lub z dzikiej róży (Rys. 3A, 3D). Wyraźnie niższe wartości obserwowano przy zastosowaniu soku z pigwy. Przy zastosowaniu mieszaniny błonników Jabł+Kakao, uzyskano odmienne zależności, ponieważ wartości obu wskaźników (lepkość i naprężenie ścinające) były najwyższe przy zastosowaniu soku z pigwy (Rys. 3B, 3E). Natomiast w sok z pigwy w połączeniu z błonnikiem z czarnej porzeczki spowodował uzyskanie pośrednich wartości w odniesieniu do zastosowania soku z róży lub porzeczki (Rys. 3C, 3F). Udział soku może wspomagać wiążące działanie preparatu błonnikowego. Sitkiewicz i wsp. [2008] wykazali, że niezależnie od temperatury, soki jabłkowy oraz aroniowy w zakresie stężenia 10-70% były cieczami niutonowskimi, a wartości współczynników lepkości, zależnie od stężenia i temperatury, wynosiły od 1,1 do 802,1 mPa·s. Natomiast lepkość soku aroniowego była nawet blisko 3-krotnie niższa.

4.6. Wpływ modyfikacji receptury poprzez zastosowanie preparatów błonnikowych na właściwości wieloziarnistych batonów pieczonych

4.6.1. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na zawartość i aktywność wody oraz odczyn pH wieloziarnistych batonów pieczonych

W celu zbadania wpływu typu preparatu błonnikowego na zawartość wody w batonach wieloziarnistych pieczonych w piecu (180°C, 30 min) zastosowano błonniki pojedynczo lub mieszanki dwóch błonników w proporcji 3:2 (większy udział błonnika jabłkowego). Zawartość wody w batonach była zróżnicowana, zależnie od użytego błonnika (Rys. 5).

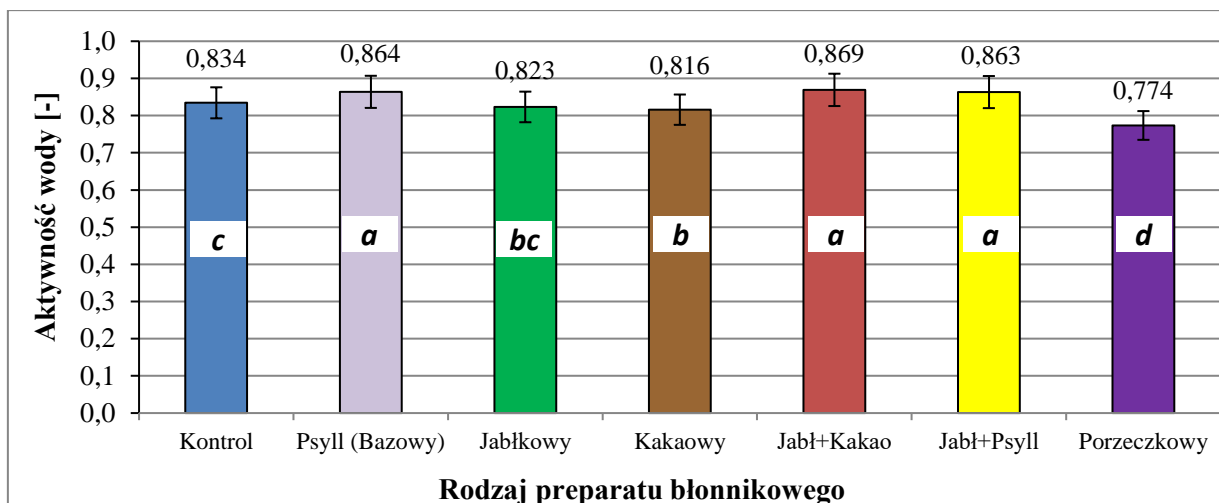


Rysunek 5. Wpływ typu preparatu błonnikowego na zawartość wody w batonach wieloziarnistych; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a,b,c.. – oznaczenia grup homogenicznych przy $p \leq 0,05$ (Tab. 22 /Aneks)

Wykazano statystycznie istotny wpływ typu błonnika na zawartość wody w batonach. Najwyższe wartości stwierdzono w próbkach kontrolnych, bez dodatku błonnika, około 24,1%. Dodatek preparatów błonnikowych spowodował znaczące obniżenie zawartości wody. W wyniku analizy statystycznej uzyskano 5 grup homogenicznych. Najniższe wartości uzyskano w batonach z dodatkiem mieszanki błonników jabłkowego i Psyllium (około 12,6%). Nieznacznie wyższe wartości otrzymano w batonach z błonnikiem z czarnej porzeczki (około 14,3%) oraz błonnikiem kakaowym (15,4%). Próbki zawierające błonnik jabłkowy, jego mieszaninę z błonnikiem kakaowym oraz podobnie, zawierające błonnik Psyllium, odznaczały się stosunkowo wysoką zawartością wody, wynoszącą odpowiednio 18,6, 17,6% i 19,4%. Można ocenić, że użycie błonnika jabłkowego lub Psyllium spełniało rolę dotyczącą wiązania wody i w ten sposób kształtowania oczekiwanej tekstury batonów. Nie stwierdzono takiej zależności w przypadku batonów z błonnikiem jabłkowym lub kakaowym oraz ich mieszanką, tzn. w przypadku mieszanki zawartość wody była wartością pośrednią.

Podsumowując, zawartość wody batonów pieczonych zależała od rodzaju zastosowanego preparatu błonnikowego w recepturze batonów. Niezależnie od rodzaju błonnika, zawartość wody wszystkich batonów była niższa o 4,7-11,5 punkty procentowe w porównaniu do batonów kontrolnych (bez błonnika). Błonnik Psyllium oraz jabłkowy powodowały tylko nieznaczne obniżenie zawartości wody, o 4,7-5,5 punkty procentowe w porównaniu z batonami bez błonnika. Natomiast użycie obu tych błonników (mieszanki) spowodowało zmniejszenie wilgotności batonów blisko o połowę, tj. z 24,1% (batony kontrolne) do 12,6% (Rys. 5). Zastosowanie mieszanki Jabł+Kakao doprowadziło do uzyskania pośrednich wartości, jednakże bliższych wilgotności batonów z błonnikiem jabłkowym. Stosunkowo niską wilgotnością charakteryzowały się batony z błonnikiem z czarnej porzeczki.

Pomimo uzyskania stosunkowo niskich zawartości wody w batonach pieczonych, odznaczały się one dość wysoką aktywnością wody, zróżnicowaną w porównaniu do wartości w batonach kontrolnych (bez błonnika) (Rys. 6). W batonach kontrolnych zmierzono aktywność wody na poziomie 0,834, a w batonach z błonnikiem o wartości średniej $0,835 \pm 0,038$. Zastosowanie preparatów błonnikowych wpłynęło w sposób zróżnicowany na ten wskaźnik (0,774-0,869).

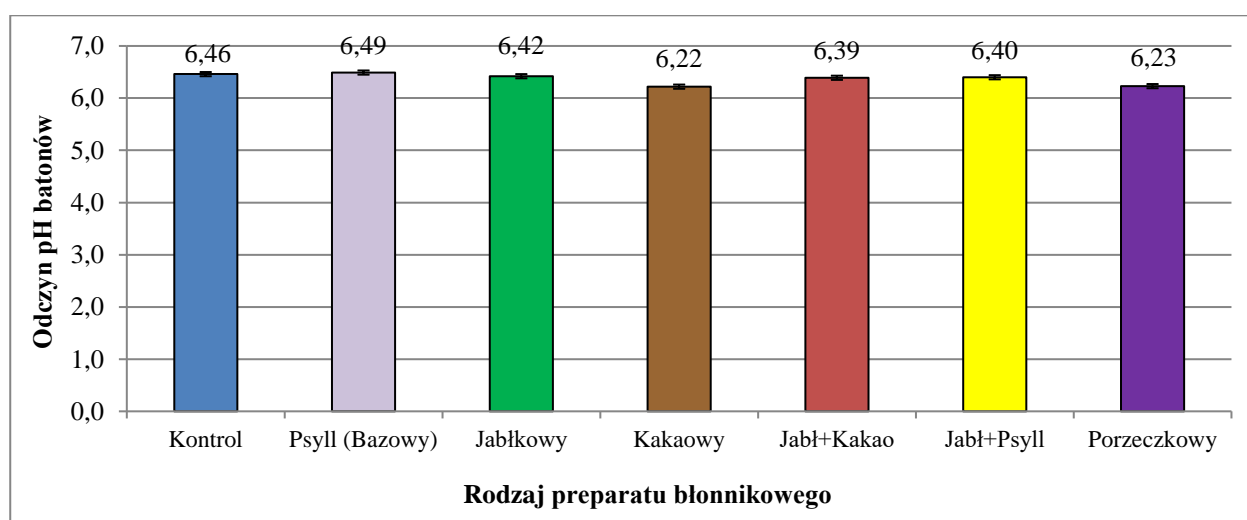


Rysunek 6. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na aktywność wody batonów wieloziarnistych; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a,b,c.. – oznaczenia grup homogenicznych przy $p \leq 0,05$ (Tab. 22 /Aneks)

Otrzymane wartości aktywności wody wskazują na ograniczony czas przechowywania batonów i dużą podatność na zmiany mikrobiologiczne. Najniższe wartości aktywności wody uzyskano w przypadku próbek z błonnikiem z czarnej porzeczki (średnio 0,774), podczas gdy w batonach z błonnikiem Psyllium, mieszanką błonnika jabłkowego i Psyllium oraz jabłkowego i kakaowego aktywność wody była wyższa niż w próbce kontrolnej (0,863-0,869). W wyniku analizy statystycznej wszystkie trzy próbki zostały zakwalifikowane do wspólnej grupy homogenicznej (a). W odrębnej grupie znalazła się próbka z błonnikiem porzeczkowym (d). We wspólnej grupie znalazły się próbki z błonnikiem kakaowym (b) oraz jabłkowym (bc). W przypadku ostatniej z próbek nie stwierdzono istotnych różnic w jej aktywności wody w stosunku do batonu kontrolnego (c).

Podsumowując, aktywność wody batonów pieczonych zależała od rodzaju zastosowanego preparatu błonnikowego w recepturze batonów. Jednakże zmieniała się w dość wąskim zakresie, od 0,816 do 0,869, a tylko batony z błonnikiem porzeczkowym odznaczały się znacznie niższą wartością 0,774. W porównaniu do batonów kontrolnych aktywność wody batonów z błonnikami Jabł+Kakao, Psyllium i Jabł+Psyll była wyższa, a batony z błonnikiem jabłkowym oraz kakaowym charakteryzował podobny poziom aktywności wody, średnio 0,820, podobnie jak batony kontrolne (0,834). Stosunkowo wysoka aktywność wody wszystkich batonów może być wynikiem stosowania pieczenia, którego celem jest uzyskanie produktu o zwiększonej strawności i przyswajalności oraz odpowiedniej tekstury i jakości sensorycznej. Pieczenie może być realizowane w warunkach „zaparowania”, stąd zasadniczym celem pieczenia nie jest obniżanie aktywności i zawartości wody. Należy podkreślić, że

pieczywo jako grupa produktów, do której z dużym uogólnieniem można zaliczyć pieczone batony, odznacza się stosunkowo wysoką aktywnością i zawartością wody. W badaniach przeprowadzonych przez Pałachę i Makarewicz [2011] pieczywo razowe i pszenno-żytnie z soją wykazywało aktywność wody na poziomie 0,971-0,976, przy zawartości wody około 47%. Z tego powodu pieczywo odznacza się stosunkowo krótkim okresem trwałości. Koncepcja wytwarzania batonów skupiała się na uzyskaniu produktu przekąskowego o wydłużonym okresie przydatności do spożycia, w zakresie do 14 dni. Wszystkie batony odznaczały się niższymi wartościami aktywności wody niż tradycyjne pieczywo, w tym poniżej zakresu, w którym mogą rozwijać się drobnoustroje chorobotwórcze. Można ocenić, że odpowiednio zapakowane batony mogą być trwałe we wskazanym terminie przechowywania.

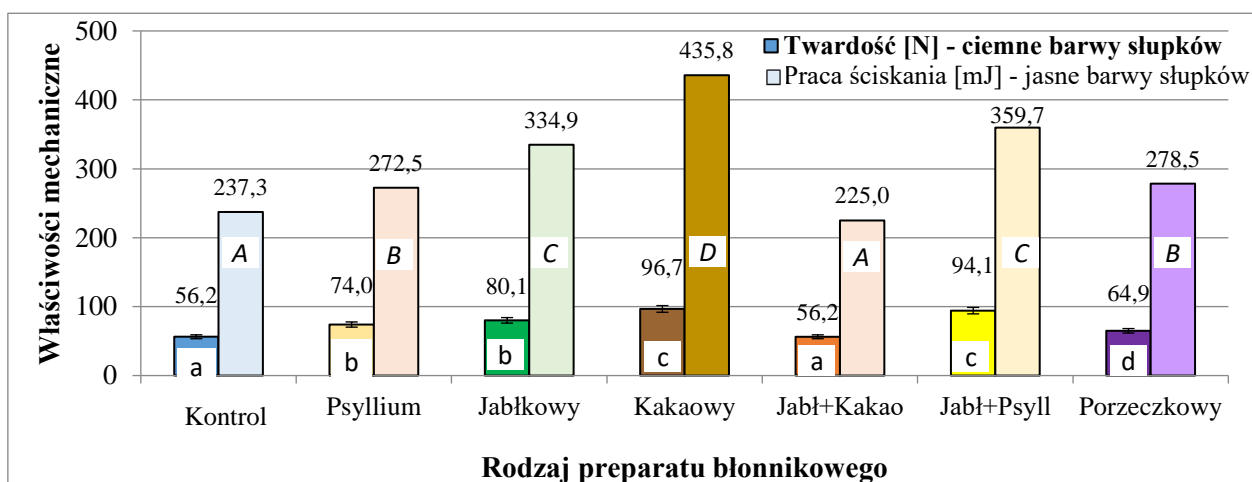


Rysunek 7. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na odczyn pH batonów wieloziarnistych; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; pominięto oznaczenia grup homogenicznych, gdyż prawdopodobieństwo $p > 0,05$

Oceniając wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na odczyn pH batonów wieloziarnistych (Rys. 7), nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie. Brak istotnych różnic potwierdzają niewielkie odchylenia standardowe uzyskanych danych pH batonów. Wartości pH zawierały się w przedziale 6,22-6,49 i były porównywalne z odczynem batonów kontrolnych, pieczonych bez dodatku błonnika. Zaobserwowano jednak pewne tendencje. Zastosowanie błonnika porzeczkowego lub kakaowego spowodowało uzyskanie nieznacznie niższego pH (6,22-6,23), a błonnika Psyllium wyższego (6,49).

4.6.2. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na właściwości tekstury wieloziarnistych batonów pieczonych

Wykazano istotne różnice twardości i pracy ściskania próbek zawierających różne preparaty błonnikowe (Rys. 8). W przypadku obu wskaźników wyodrębniono 4 grupy homogeniczne.



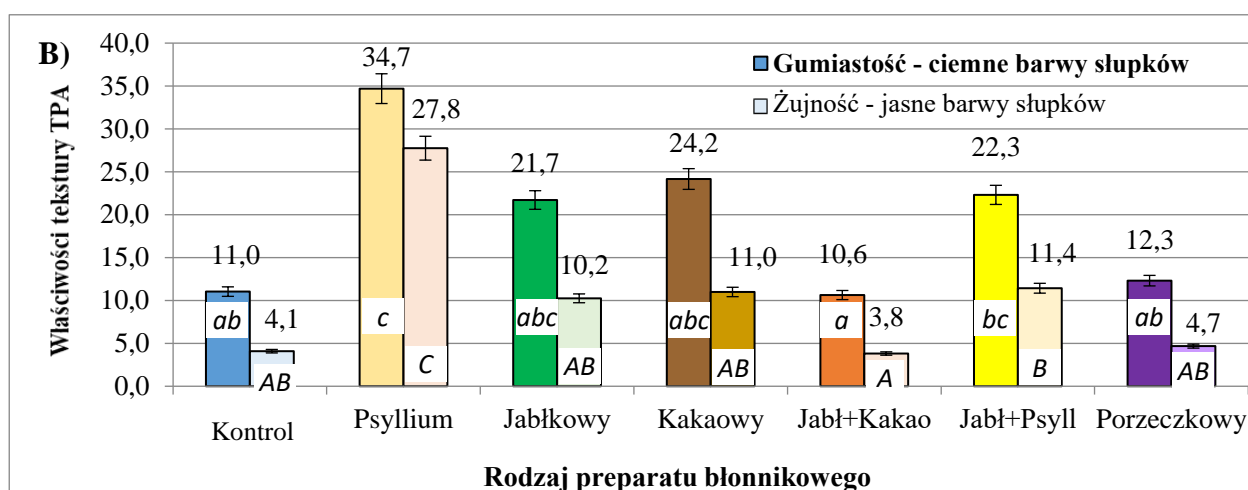
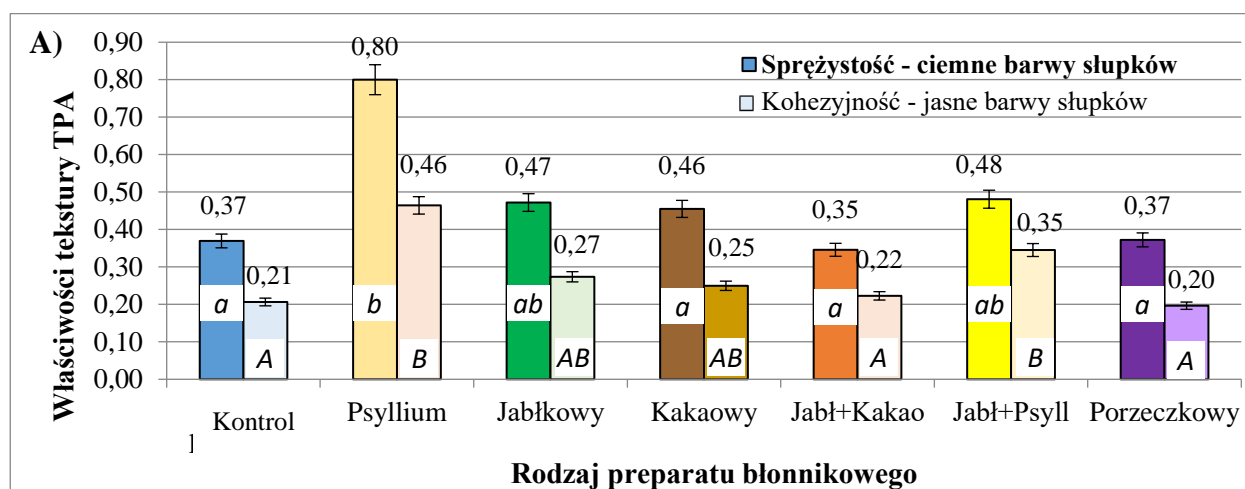
Rysunek 8. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na teksturę batonów wieloziarnistych; tj. twardość (siła maksymalna) i pracę ściskania; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a,b,c .. – oznaczenia grup homogenicznych dla twardości; A,B,C..- oznaczenia grup homogenicznych dla pracy ściskania, przy $p \leq 0,05$ (Tab. 23/Aneks)

Najwyższą twardością charakteryzowały się batony z błonnikiem kakaowym (średnio 96,7 N), a najniższą batony kontrolne i z dodatkiem mieszanki błonników Jabł+Kakao (średnio 56,2 N). Podobnie w przypadku pracy ściskania batony z błonnikiem z kakao charakteryzowały się najwyższą wartością pracy ściskania (około 435,8 mJ), a najniższą batony z mieszanką błonnika Jabł+Kakao (około 225,0 mJ).

Rodzaj błonnika wpłynął istotnie na wyróżniki tekstury wieloziarnistych batonów pieczonych, jak sprężystość, kohezyjność, gumiałość i żujność (Rys. 9). Wykazano największą sprężystość batonów z dodatkiem błonnika Psyllium (około 0,80), tj. około 2,5 krotnie większą w stosunku do próbek zawierających pozostałe preparaty błonnikowe i batonów kontrolnych (Rys. 9A). Batony zawierające błonnik jabłkowy oraz jego mieszankę z błonnikiem Psyllium znalazły się w obu grupach homogenicznych *ab*. Najniższą wartością charakteryzowały się batony z mieszanką błonnika z jabłek i kakao (0,35).

W przypadku kohezyjności, podobnie jak przy sprężystości, największe wartości wykazano w batonach, w których zastosowano preparat Psyllium (około 0,46) (Rys. 9A). W tej samej grupie *B* znalazły się batony zawierające mieszankę błonnika jabłkowego i Psyllium

(około 0,35), a także próbki zakwalifikowane do grupy AB, batony z błonnikiem jabłkowym (około 0,27), a także kakaowym (około 0,25).



Rysunek 9. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na teksturę batonów wieloziarnistych: A) sprężystość / kohezyjność, B) gumiastość / żujność; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; *a,b,c* .. – oznaczenia grup homogenicznych dla analizy wpływu błonnika na sprężystość oraz gumiastość; *A,B* – oznaczenia grup homogenicznych dla analizy wpływu błonnika na kohezyjność oraz żujność, przy $p \leq 0,05$ (Tab. 23/Aneks)

Batony kontrolne, z mieszanką błonnika z jabłek i kakao oraz porzeczkowym wykazywały najmniejszą kohezyjność (0,20-0,22).

Gumiastość próbek batonów zależała istotnie statystycznie od rodzaju preparatu błonnika w recepturze batonów (Rys. 9B). Wyodrębniono 3 grupy homogeniczne. Największą gumiastością charakteryzowały się batony z błonnikiem Psyllium (około 34,7), natomiast najniższą batony z mieszanką błonnika z jabłek i kakao (około 10,6). Wykazano również istotny wpływ typu błonnika na żujność batonów (Rys. 9B). Ponownie, batony z błonnikiem Psyllium odznaczały się najwyższą żujnością (27,8), ponad 2-7 krotnie wyższą w porównaniu do

batonów z innymi błonnikami. Batonów z błonnikiem z jabłek, a także kakaowym i Jabł+Psyll odznaczały się niższą żujnością, jednak na zbliżonym poziomie 10,2-11,4. Najniższą wartością, niższą niż w batonach bez błonnika (około 4,1), charakteryzowały się batony z błonnikiem Jabł+Kakao (około 3,8).

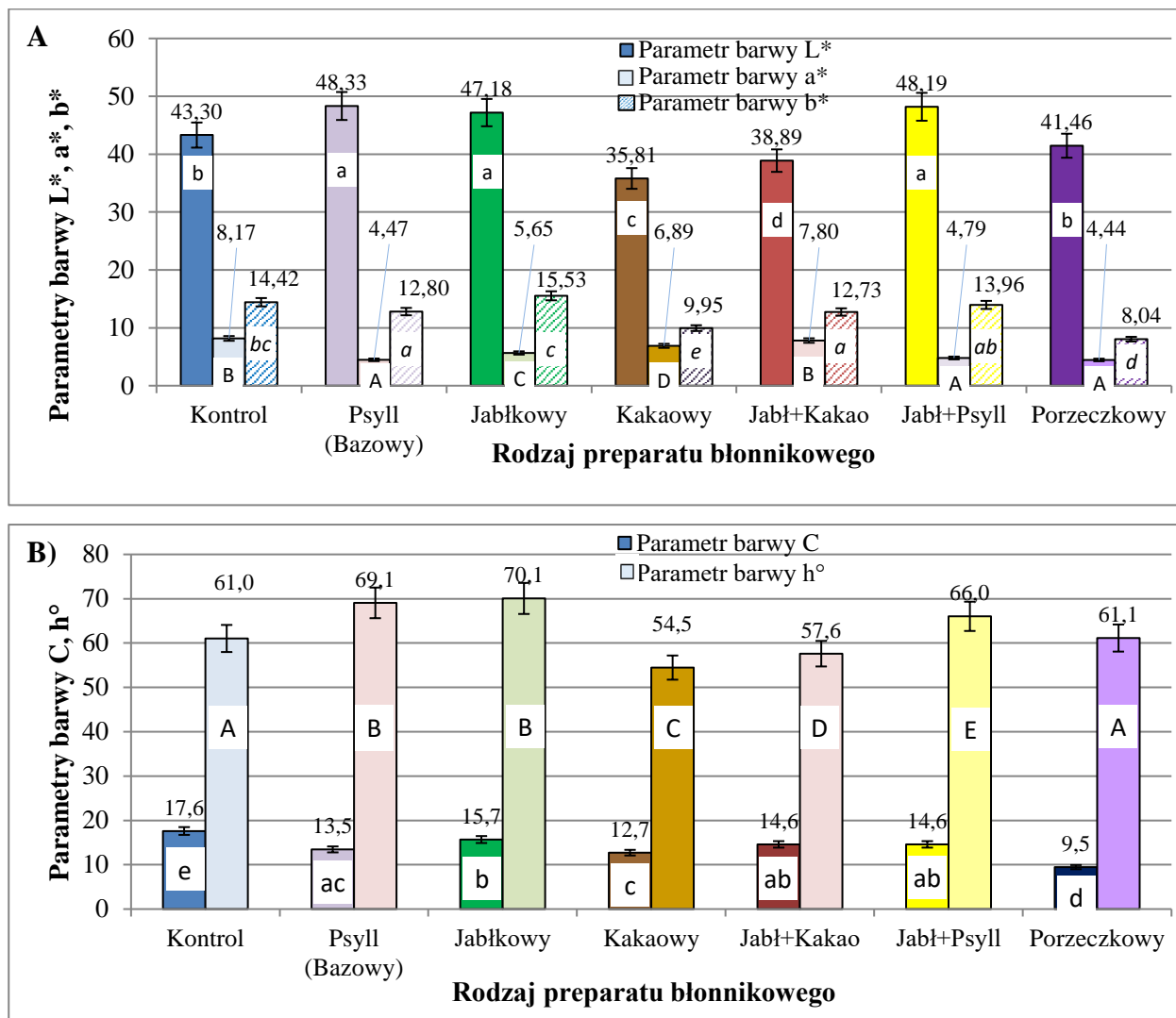
Podsumowując, właściwości mechaniczne badane w teście ściskania i profil tekstury TPA batonów pieczonych zależał od rodzaju zastosowanego preparatu błonnikowego w recepturze batonów. Błonnik pokarmowy, zwłaszcza preparat błonnika Psyllium pełni bardzo przydatne funkcje technologiczne. W porównaniu do zastosowania pozostałych błonników i batonów kontrolnych powodował on uzyskanie wyraźnie wyższej sprężystości, gumistości i kohezji, a także żujności. Użycie mieszanki preparatów z błonnikiem Psyllium (Jabł+Psyll) miało duże znaczenie w podwyższeniu kohezji batonów w odniesieniu do użycia tylko błonnika jabłkowego jak i pozostałych błonników. Zastosowanie błonnika jabłkowego, mieszanki Jabł+Psyll, jak i kakaowego, może być również brane pod uwagę w projektowaniu receptury batonów. Wykazujące porównywalną sprężystość i gumistość, chociaż znacznie mniejszą w porównaniu z błonnikiem Psyllium, błonniki te mogą być bardzo przydatne w zagospodarowaniu produktów odpadowych z surowców roślinnych, a tym samym mieć swój udział w zrównoważonych technologiach. Ponadto, praktycznie wszystkie batony wykazywały większą twardość i pracę w teście ściskania, za wyjątkiem batonów z mieszanką błonników Jabł+Kakao. Jak wykazali Nawirska i Kwaśniewska [2004] błonnik wpływa na teksturę żywności, a także trwałość produktu, co jest wynikiem zdolności do zagęszczenia, nadawania lepkości i zatrzymywania wody, a także tłuszczu. Jest to również związane ze zmniejszeniem utraty masy podczas obróbki termicznej oraz zwiększeniem wydajności produkcji. Cechy te są pożądane w przypadku badanych batonów pieczonych.

4.6.3. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na barwę wieloziarnistych batonów pieczonych

Zbadano wpływ rodzaju dodanego błonnika na poszczególne parametry barwy batonów. Rodzaj dodanego błonnika miał istotny wpływ na jasność L^* oraz parametry a^* i b^* , a także nasycenie C i ton barwy h° badanych batonów (Rys. 10).

W przypadku parametru L^* , czyli jasności barwy batonów, analiza wariancji doprowadziła do wydzielenia trzech grup homogenicznych (Rys. 10A). Nie stwierdzono różnic jasności barwy próbek z dodatkiem błonników Psyllium i jabłkowego oraz mieszanki Jabł+Psyll. Podobnie jasność barwy batonów kontrolnych (bez błonnika) i batonów z błonnikiem porzeczkowym nie różniła się statystycznie istotnie. Pozostałe batony znalazły się

w odrębnych grupach homogenicznych. Zastosowanie błonnika z kakao spowodowało intensywne pociemnienie barwy batonów, ponieważ błonnik kakaowy odznacza się typową barwą kakao spożywczego. Zauważalnie ciemniejszą barwą odznaczały się również batony z błonnikiem porzeczkowym, ze względu na udział naturalnych związków o właściwościach przeciwutleniających o ciemnej barwie. Natomiast zastosowanie błonnika Psyllium doprowadziło do uzyskania batonów o znacznie jaśniejszej barwie.



Rysunek 10. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na parametry barwy batonów wieloziarnistych: A) parametry barwy L*, a*, b*; B) parametry barwy C, h°. Oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a,b,c... – oznaczenia grup homogenicznych dla parametru barwy L* i C; A,B,C... – oznaczenia grup homogenicznych parametrów barwy a* i h°; a,b,c .. – oznaczenia grup homogenicznych parametru barwy b*, przy $p \leq 0,05$ (Tab. 24/Aneks).

Zastosowanie preparatu błonnikowego, który odznacza się swoistą barwą, prowadzi do zmiany jasności barwy batonów w stosunku do barwy batonów kontrolnych, bez dodatku błonnika. Dodatek błonnika Psyllium, jabłkowego oraz ich mieszaniny powodował około 9-

12% zwiększenie wartości jasności barwy L^* . Dodatek błonnika z czarnej porzeczki spowodował nieznaczne obniżenie jasności barwy batonów o około 4%, a kakaowy spowodował znaczne obniżenie wartości tego wskaźnika, o 10-17%.

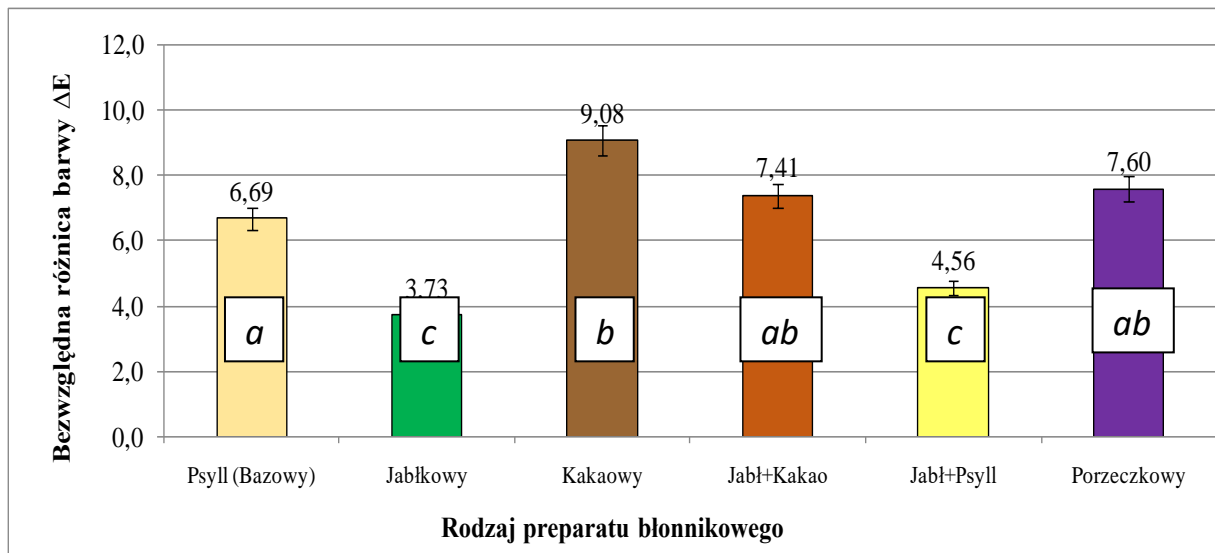
Wszystkie batony charakteryzowały się dodatnimi wartościami parametru a^* , dlatego dodatek błonnika wpływał na kształtowanie barwy czerwonej (Rys. 10A). Badanie wykazało istotne różnice w wartościach parametru a^* próbek z dodatkiem błonnika jabłkowego oraz mieszanek błonnika jabłkowego i kakaowego, a także jabłkowego i Psyllium, w porównaniu do barwy batonów z błonnikiem z czarnej porzeczki (4 odrębne grupy homogeniczne). Nie stwierdzono istotnej różnicy wartości parametru a^* próbek z błonnikiem Psyllium w stosunku do próbek z mieszanką błonników jabłkowego i kakaowego (Jabł+Kakao) oraz jabłkowego i Psyllium (Jabł+Psyll). Próbki te znalazły się w obu grupach homogenicznych. Najwyższymi wartościami charakteryzowały się próbki kontrolne (średnio 8,2) a najniższymi batony z błonnikiem Psyllium (średnio 4,5). Ponieważ zwiększenie wartości tego parametru może wiązać się ze zwiększeniem brązowienia próbek wskutek zachodzenia nieenzymatycznych reakcji Maillarda, barwę próbek o niższej wartości parametru a^* oceniano jako korzystniejszą.

Parametr b^* dotyczył udziału barwy żółtej lub niebieskiej w barwie próbek batonów wieloziarnistych (Rys. 10A). Badanie wykazało istotne różnice wartości parametru b^* próbek z dodatkiem błonnika Psyllium oraz mieszanki błonników jabłkowego i Psyllium (wspólna grupa homogeniczna), jabłkowego, a także porzeczkowego i mieszanki błonników jabłkowego i kakao. Wyodrębniono tym samym 4 grupy homogeniczne. Najwyższe wartości parametru b^* zostały wyznaczone w przypadku próbek z błonnikiem jabłkowym (około 15,5), a najniższe - próbek z błonnikiem z czarnej porzeczki (około 8,0).

Parametr C , oznaczający nasycenie barwy badanych próbek, istotnie różnił się. Większość próbek batonów różniła się nasyceniem barwy od pozostałych, dlatego wyodrębniono 5 grup homogenicznych (Rys. 10B). Parametr h° , odpowiadający za odcień (ton) barwy, w badanych próbkach różnił się istotnie, zależnie od zastosowanego typu błonnika. Największe różnice obserwowano pomiędzy odcieniem barwy próbek z błonnikiem Psyllium, porzeczki i mieszanki błonników jabłkowego i kakao (Rys. 10B). Pozostałe próbki znalazły się w dwóch grupach homogenicznych. Najwyższe wartości h° wyznaczono w przypadku próbek z błonnikiem Psyllium (średnio 65,0), odpowiadającym na kole barw barwie żółto-pomarańczowej, a najniższe z błonnikami jabłkowym i kakao (średnio 54,5), o barwie pomarańczowo-czerwonej.

W podsumowaniu określenia wpływu preparatów błonnikowych na barwę batonów zastosowano wyliczenie bezwzględnej różnicy barwy ΔE (Rys. 11). Wskaźnik ten wyznaczono jako wartość liczbową, wyrażającą różnicę wartości parametrów barwy L^* , a^* , b^* batonów z

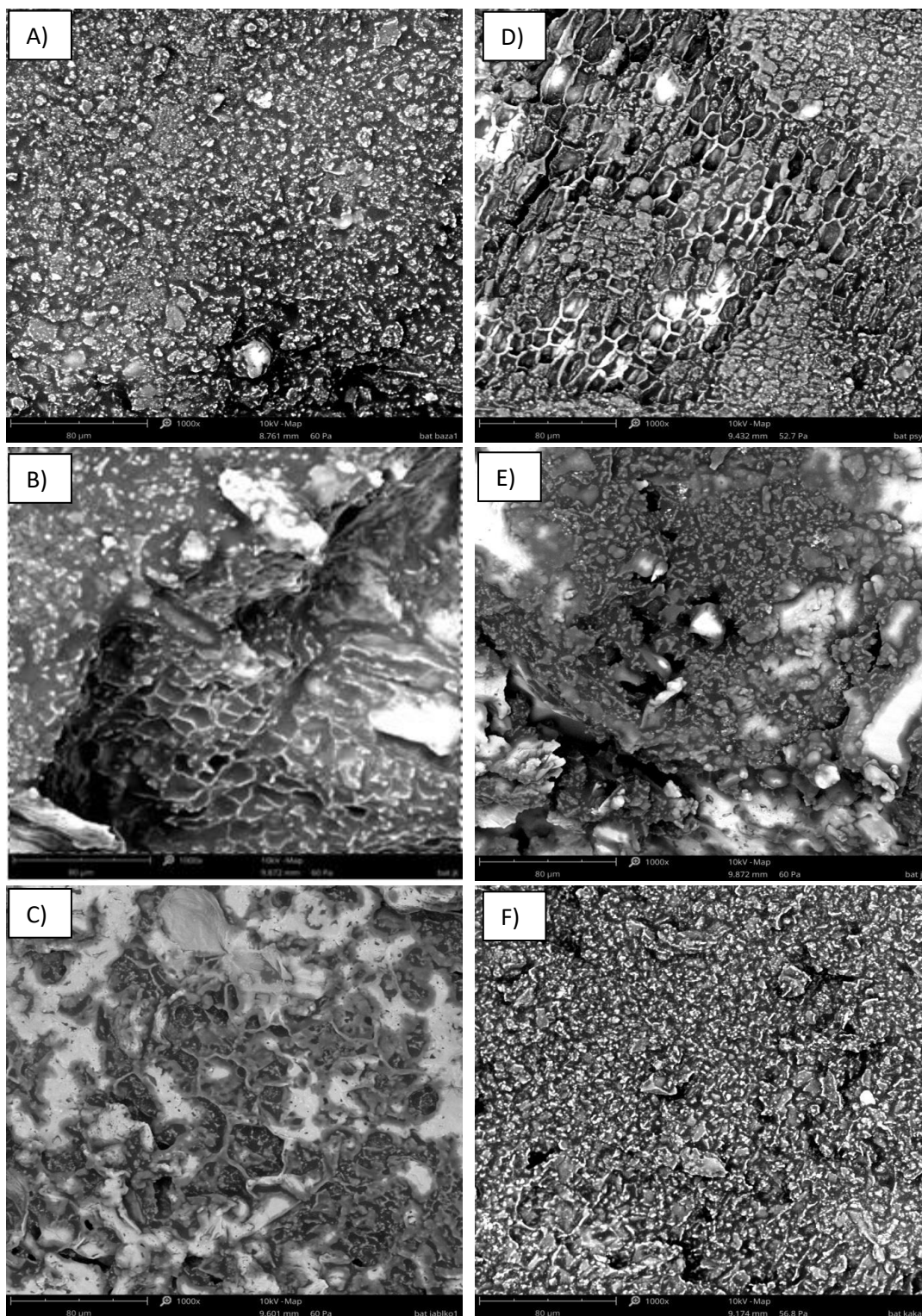
błonnikami w stosunku do barwy wzorca, który stanowiły batony kontrolne (bez błonnika). Stwierdzono istotny wpływ zastosowanych błonników na zmianę barwy pieczonych batonów. Wszystkie wartości bezwzględnej różnicy barwy przekraczały wartość progową 3,5, powyżej której różnice barwy są wyraźnie dostrzegane przez ludzkie oko (Rys. 11).



Rysunek 11. Wpływ rodzaju preparatu błonnikowego na bezwzględną różnicę barw ΔE batonów wielozłaznistych; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a, b, c – oznaczenia grup homogenicznych przy $p \leq 0,05$ (Tab. 25/Aneks)

Najniższymi wartościami, a tym samym barwą najbardziej podobną do batona kontrolnego, odznaczały się batony z błonnikiem jabłkowym (średnio 3,7), a najwyższymi barwa batonów z błonnikiem kakaowym (średnio 9,1). W przypadku batonów z błonnikami Psyllium, Jabł+Psyllium, porzeczkowego i kakaowego wartości ΔE przekraczały wartość progową 5, powyżej której obserwator odnosi wrażenie dwóch różnych barw w stosunku do batonu kontrolnego. Analiza wpływu preparatu błonnikowego na bezwzględną różnicę barw ΔE doprowadziła do wyznaczenia trzech grup homogenicznych. Jednak duże różnice barwy batonów z błonnikiem Psyllium w porównaniu z barwą batonów bazowych mogą wynikać z większej jasności barwy i mniejszego udziału barwy czerwonej, powodowanej błonnikiem Psyllium. Natomiast wysoka wartość ΔE w przypadku barwy batonów z błonnikiem z czarnej porzeczki może wynikać z niższych wartości wszystkich trzech parametrów barwy L^* , a^* , b^* .

Zatem dobór preparatu błonnikowego ze względu na źródło jego pochodzenia, w tym konkretne związki z tej grupy, a także składniki towarzyszące, jak związki polifenolowe, antocyjanowe i inne, mają duży wpływ na kształtowanie barwy batonów, jednego z najważniejszych wyróżników sensorycznych.



Rysunek 12. Obraz struktury batonów wielozłarnistych z błonnikami: A) kontrolny, B) jabłkowy i Psyllium, C) jabłkowy, D) Psyllium, E) jabłkowy i kakaowy, F) kakaowy. Obraz uzyskany przy użyciu mikroskopu SEM, powiększenie 1000x (Rys. 44 /Aneks)

Preparaty błonnikowe uzyskuje się poprzez suszenie i mikronizację z bardzo zróżnicowanych surowców roślinnych wyłoków owocowych [Subiria-Cueto i wsp. 2021]. Jednocześnie wpisuje się to w ważną funkcję żywności polegającej na dostarczeniu konsumentowi

satysfakcji z jej spożywania, gdy brak akceptacji konsumenta może dyskwalifikować dany produkt, mimo obecnych w nim cennych składników [Kozłowska i Troszyńska 1999].

W celu próby oceny wpływu zastosowania preparatów błonnikowych wykonano zdjęcia struktury wewnętrznej batonów przy pomocy mikroskopu elektronowego (Rys 12). Jednakże z powodu dużego zróżnicowania składników i stopnia rozdrobnienia, trudno jest interpretować wpływ jakiegokolwiek z badanych czynników na jakość batonów. W zależności od miejsca batonu, w którym wykonano zdjęcie, można sądzić o występowaniu większych elementów struktury składników wiążących, odróżniających je od elementów stanowiących większe cząstki, np. cząstek pestek dyni lub nasion słonecznika. Ponadto w obrazie są widoczne inne bardziej drobne elementy, które mogą dotyczyć wszystkich bardziej rozdrobnionych składników. W niektórych miejscach widoczne bardziej jednolite ziarnistości, które mogą świadczyć o spajającym działaniu preparatów błonnikowych.

4.7. Dobór metody wytwarzania batonów wieloziarnistych (ETAP II)

Po zapoznaniu się z literaturą wykonano wiele prób wstępnych, dotyczących powiązania receptury i warunków otrzymywania batonów z pożądaną jakością produktu. W kolejnych krokach podjęto próby zastosowania różnych metod suszenia jako alternatywnych do pieczenia. Celem była możliwość otrzymywania batonów o cechach zbliżonych do batonów pieczonych, ale z wykorzystaniem metod termicznych o niższej temperaturze. Zakładano możliwość uzyskania batonów wyższej jakości pod względem zachowania składników termolabilnych o charakterze prozdrowotnym. Spośród ważniejszych oznaczeń, przydatnych do wstępnej oceny uzyskanych produktów pieczonych oraz suszonych dokonano obserwacji wzrokowych, dotyczących oceny kształtu i wybarwienia, oraz oznaczeń aktywności i zawartości wody, zmiany masy oraz parametrów barwy i przeprowadzono ocenę sensoryczną.

4.7.1. Ocena wybranych metod obróbki termicznej (pieczenie, suszenie) do wytwarzania batonów wieloziarnistych

Dobór obróbki termicznej w technologii wytwarzania przekąskowych batonów wieloziarnistych polegał na wykorzystaniu tradycyjnego pieczenia batonów w silikonowych foremkach (Rys. 2). Wizualnie batony odznaczały się równomierną barwą, teksturą charakterystyczną dla przekąsek wieloziarnistych, z lekko wyczuwalnym zapachem pieczywa.

Do otrzymywania batonów wieloziarnistych z zastosowaniem suszenia wykorzystano metodę mikrofalowo-konwekcyjną, konwekcyjno-mikrofalowo-próżniową, tzw. puffing, oraz metodę liofilizacji. W przypadku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego w próbach

początkowych zdarzały się przypalenia, zwłaszcza wewnętrzne, lub przesuszenie, objawiające się zbyt dużą twardością batonów. W przypadku tej metody określenie optymalnych parametrów okazało się trudniejsze niż w przypadku wypieku. Ostatecznie określono, iż przy temperaturze 40°C oraz mocy mikrofal na poziomie 230 W parametry otrzymanych przekąsek były optymalne. Czas suszenia batonów wynosił około 30 minut.

Metoda suszenia konwekcyjno-mikrofalowo-próżniowa, zwana puffingiem, to jedna z nowszych metod suszenia żywności [Ignaczak i wsp. 2022], niespotykana do otrzymywania przekąsek batonowych. Zaletą suszenia mikrofalowo-próżniowego jest stosunkowo krótki czas suszenia i ograniczenie procesów utleniania. Dodatkowo atutem produktu otrzymanego tą metodą jest zachowanie barwy i aromatu oraz składników bioaktywnych, a także uzyskanie porowatej i chrupkiej struktury [Kowalska i wsp. 2020b].



Rysunek 13. Próby otrzymania batonów metodą suszenia mikrofalowo-próżniowego, zdjęcie próbek z foremką silikonową w komorze suszarki (Rys. 45/Aneks)

Jednak podczas suszenia dużym problemem był nierównomierny wzrost temperatury suszonego materiału [Therdthaii Zhou 2009], co w konsekwencji powodowało stosunkowo szybkie twardnienie badanych próbek w stosunku do batonów otrzymanych metodą wypieku. Niestety, w przypadku tego konkretnego typu produktu, metoda ta okazała się nie mieć zastosowania. Napotkano problemy związane brakiem możliwości zachowania kształtu batonów ze względu na boczne umocowanie komory suszenia, która obraca się podczas działania urządzenia, a także wewnętrznym przypalaniem próbek (Rys. 13).

Do otrzymywania batonów zastosowano metodę suszenia liofilizacyjnego, uznawaną za wzorcową pod względem jakości suszy, które zachowują kształt i większość składników termolabilnych [Ciurzyńska i wsp. 2011, Zalewska i wsp. 2016]. Liofilizacja to wciąż mało

rozpowszechniona metoda suszenia żywności, ale szeroko badana w skali laboratoryjnej, również do wytwarzania przekąsek batonowych [Ciurzyńska i wsp. 2022]. W celu zastosowania suszenia liofilizacyjnego po uprzednim uformowaniu, batony wstępnie zamrażano w zamrażarce szokowej w temperaturze -40°C przez co najmniej 12 godzin. Suszenie w pierwszym etapie odbywało się przy temperaturze półki -10 , a następnie 30°C i ciśnieniu 63 Pa. Proces liofilizacji trwał 24 godziny. Tak dobrane parametry pozwoliły na uzyskanie przekąski o pożądanych cechach, natomiast batony bardzo twardniały. Prawdopodobnie, po większej liczbie prób i ustaleniach warunków suszenia, możliwe było uzyskanie akceptowalnego produktu. Jednak zaniechano stosowanie tej metody w dalszych badaniach. Obawiano się, że głównym powodem twardości batonów mogła być nierównomierna wilgotność składników o zróżnicowanych zdolnościach pochłaniania wilgoci po suszeniu. Higroskopijność suszy liofilizowanych traktowana jest za jedną z najważniejszych wad tej metody, dlatego proces rozładunku suszy i pakowanie musi być prowadzone w odpowiednich warunkach, przede wszystkim przyniskiej wilgotności powietrza.

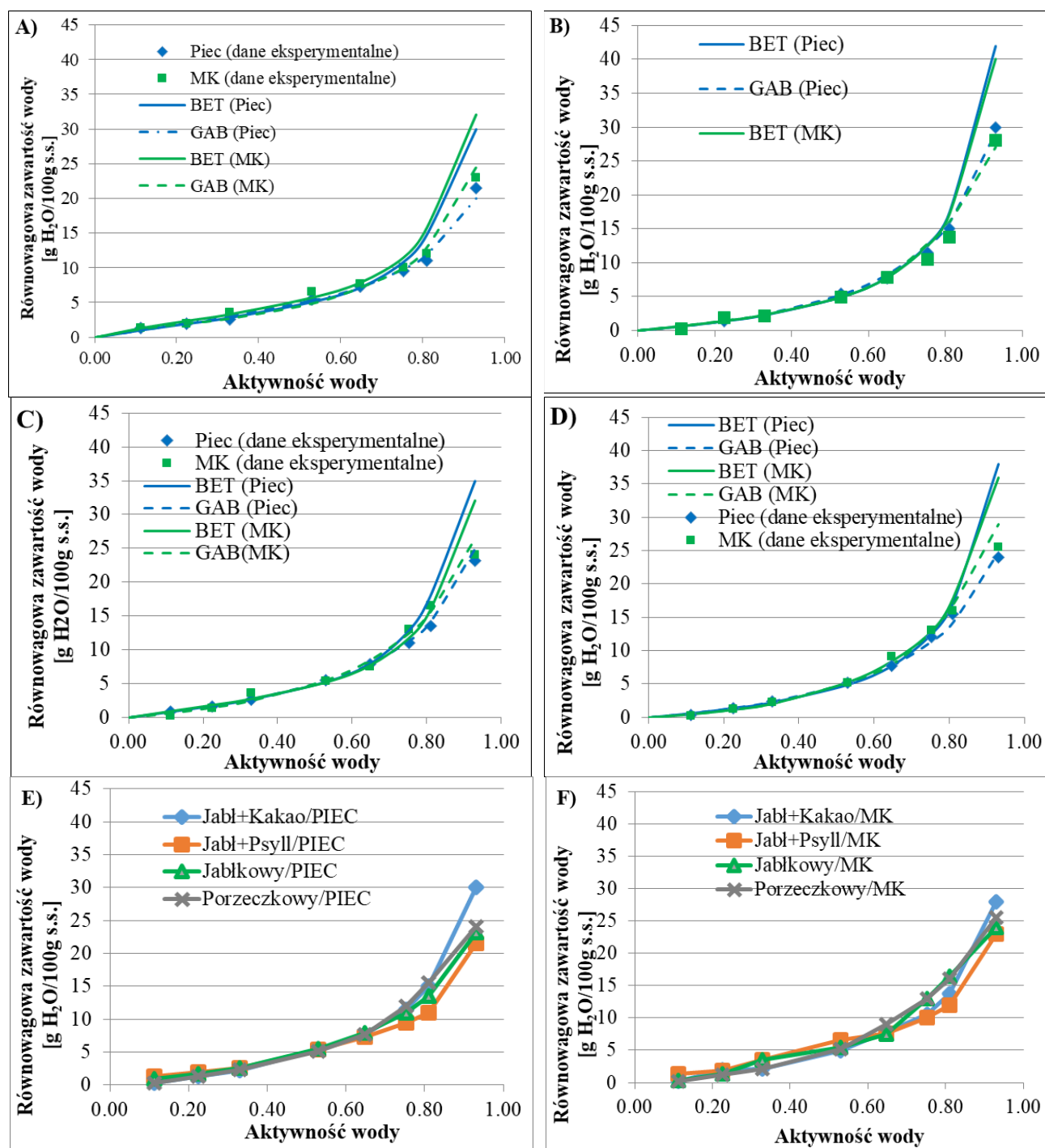
Na podstawie uzyskanych obserwacji i wyników do kolejnych etapów wybrano batony z dodatkiem mieszanek błonników, jabłkowego i Psyllium, jabłkowego i kakao, oraz pojedynczo, jabłkowego i porzeczkowego. Do otrzymywania batonów wybrano metodę pieczenia oraz suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego.

4.7.2. Wpływ metody otrzymywania i rodzaju błonnika na izotermy sorpcji batonów wieloziarnistych pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną

Właściwości sorpcyjne batonów wieloziarnistych określono na podstawie izoterm sorpcji otrzymanych poprzez zastosowanie metody statyczno-eksykatorowej prowadzonej przez 3 miesiące oraz kinetyki sorpcji prowadzonej przez 3 doby w środowisku o aktywności wody 1,00. Izotermy sorpcji batonów wyznaczono z uwzględnieniem wpływu preparatu błonnikowego oraz metody ich wytwarzania (pieczenie, suszenie mikrofalowo-konwekcyjne), a kinetykę sorpcji z uwzględnieniem wpływu preparatu błonnikowego oraz zastąpienia wody sokiem NFC.

Przebieg izoterm pozwala określić zdolność materiału do chłonięcia i wiązania wody. Może to być podstawą do oceny ich wrażliwości na wilgoć podczas przechowywania. Na podstawie uzyskanych danych równowagowej zawartości wody wyrażonej w gramach wody na 100 g suchej substancji ($\text{g H}_2\text{O}/100 \text{ g s.s.}$) wyznaczono izotermy sorpcji pary wodnej badanych batonów (Rys. 14). Według klasyfikacji Brunauera i wsp. [1940] przebieg wyznaczonych izoterm wykazuje podobieństwo do III typu. Ten typ izoterm jest

charakterystyczny dla produktów o dużej zawartości mono- i oligosacharydów [Furmaniak 2013]. Podobnym przebiegiem charakteryzowały się izotermi owoców suszonych i odwadnianych osmotycznie [Falade i Aworh 2004, Gonddek i Lewicki 2005].



Rysunek 14. Wpływ preparatu błonnikowego na izotermi sorpcji pary wodnej pieczonych (Piec) i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie (MK) batonów wielozłarnistych z dodatkiem błonników: A) jabłkowego i Psyllium, B) jabłkowego i kakao, C) jabłkowego, D) porzeczkowego; oznaczenia punktowe – dane eksperymentalne, liniowe – opisane równaniami BET i GAB (Tab. 8); E, F) zestawienie izoterm

Uzyskane zależności równowagowej zawartości wody batonów w funkcji aktywności wody zostały opisane modelem BET i GAB (równania 5 i 6; Tab. 7). Równania GAB odznaczały się nieznacznie wyższym współczynnikiem R^2 , w zakresie 98,56-99,95%. Kędzierska i Pałacha [2012] wykazali, iż model GAB poprawnie opisał dane sorpcyjne suszu z jabłek w badanych zakresach temperatur oraz aktywności wody, natomiast model BET również poprawnie opisał dane sorpcyjne, ale w ograniczonym zakresie aktywności wody (0,006-0,432). Poprawność opisu danych eksperymentalnych przez modele BET i GAB w określonych zakresach aktywności wody, udowadniali też Timmermann i wsp. [2001]. W przypadku modelu BET najniższy współczynnik determinacji (93,98%) dotyczył pieczonych batonów z mieszanką błonnika jabłkowego i kakaowego, a najwyższy (96,94%) batonów suszonych z błonnikiem jabłkowym.

Przebieg krzywych BET i GAB na wykresach umieszczonych na Rys. 14 potwierdza ograniczony zakres stosowalności modelu BET (mniejsze dopasowanie do danych eksperymentalnych w obszarze wyższych aktywności wody) oraz przewagę modelu GAB, który w zakresie aktywności wody do 0,9 pozwolił na wykonanie dopasowania do przebiegu danych. Model ten stanowi udoskonalenie teorii BET, ponieważ zawiera dodatkową stałą k [Furmaniak 2018, Timmermann i wsp. 2001]. W przypadku badanych batonów większość wartości stałej k mieściła się w przedziale 0,82-1,20. Model GAB jest często stosowany, bo uważany jest za najbardziej uniwersalne równanie, służące do przedstawienia właściwości sorpcyjnych produktów spożywczych.

Tabela 7. Zestawienie parametrów równania BET i GAB wykorzystywanych do opisu izoterm sorpcji batonów; oznaczenia kodów jak w Tab. 2, u_m - zawartość wody w monowarstwie [g H₂O/100 g s.s.], C , k – parametry równań

BŁONNIK	METODA	PARAMETRY MODELU BET			PARAMETRY MODELU GAB			
		u_m	C	R^2	u_m	C	k	R^2
Psyllium	Piec	4,76	0,99	96,95	2,13	3,27	1,20	99,41
Jabł+Psyll	Piec	3,00	3,62	95,99	3,91	2,97	0,88	99,66
Jabł+Psyll	MK	3,20	4,75	95,93	2,12	7,07	1,14	99,52
Jabł+Kakao	Piec	3,91	1,31	93,98	7,32	0,75	0,87	99,45
Jabł+Kakao	MK	3,80	1,42	94,55	3,33	1,64	1,20	98,56
Jabłko	Piec	3,51	2,16	94,12	5,11	1,46	0,88	99,88
Jabłko	MK	3,25	2,71	96,95	9,17	0,67	0,82	99,95
Porzeczk	Piec	3,87	1,33	94,59	6,78	0,87	0,85	99,82
Porzeczk	MK	6,29	0,58	94,85	4,95	0,74	1,04	99,85

W przebiegu wyznaczonych izoterm nie obserwowano znaczącej granicy w przejściu z adsorpcji monomolekularnej do wielowarstwowej. Korzystając z obu równań określono

pojemność warstwy monomolekularnej [Furmaniak 2013]. Wartość u_m była zróżnicowana dla badanych batonów, a w przypadku równania BET wartości mieściły się w przedziale 3,00-6,29. Z obliczeń równania BET zawartość wody w monowarstwie mieściła się w zakresie od 3,0 w pieczonych batonach z błonnikiem Jabł+Psyll do 6,29 g H₂O/100 g s.s. w batonach z błonnikiem porzeczkowym otrzymanych metodą MK (Tab. 7). Na podstawie równania GAB wyznaczono szerszy zakres wartości tego wskaźnika, od 2,12 do 9,17 g H₂O/100 g s.s.

Przy niskich aktywnościach wody zmiany równowagowej zawartości wody były mniejsze. Można je wiązać z powolnymi zmianami bilansu zawartości wody przy niskiej aktywności wody i znacznie szybszym wzrostem wilgoci powyżej aktywności wody 0,5 [Ciużyńska i Lenart 2010]. Na tym poziomie aktywności wody zachodzą interakcje między rozpuszczalnikiem (wodą) a substancją rozpuszczoną, które są powiązane z rozpuszczaniem cukru. Nie zaobserwowano istotnego wpływu metody otrzymywania (obróbki termicznej) na przebieg izoterm badanych batonów (Rys. 14A-D). Natomiast dostrzeżono bardziej zróżnicowany wpływ rodzaju dodanego preparatu błonnikowego na przebieg izoterm sorpcji (Rys. 14E-F). Większą równowagową zawartością wody (około 28,0 i 30,0 g H₂O/100 g s.s.), wyraźniej widoczną przy aktywnościach wody 0,9, odznaczały się batony z mieszaniną błonników Jabł+Kakao, gdy wartości pozostałych były w wąskich zakresach. Wyższe wartości dotyczyły batonów otrzymanych metodą pieczenia. Przy wyższej aktywności wody, >0,6 można zaobserwować niższe wartości równowagowej zawartością wody batonów z błonnikami Jabł+Psyll, niezależnie od metody ich otrzymywania (Rys. 14 E-F)

Podsumowując, ze względu na bardzo zbliżony przebieg izoterm sorpcji batonów, nie można jednoznacznie ocenić wpływu metody otrzymywania (obróbki termicznej) i rodzaju błonnika. Wynika to z receptury batonów, która jest zróżnicowana pod względem składu, właściwości składników i stopnia rozdrobnienia. Wskaźnik ten jest bardzo ważny i pozwala ocenić zachowanie produktów pod względem zmian związanych z sorpcją wody podczas ich przechowywania w różnych warunkach, zwłaszcza przy podwyższonej wilgotności. Obie metody termiczne mogą być przydatne do wytwarzania batonów, ponieważ krzywe sorpcji miały zbliżony przebieg. Do wytworzenia batonów wykorzystano preparaty błonnikowe w formie proszku, które po dodaniu składnika spajającego, np. wody, wykazywały określone właściwości odnośnie wiązania wody. W większości błonników wiązanie wody było obserwowane na podstawie konsystencji ciasta batonowego, a następnie na podstawie wilgoci po obróbce termicznej, która miała duży wpływ na teksturę batonów. Z wcześniej omówionych wskaźników wynika, że spośród błonników najbardziej przydatnym do wytwarzania batonów był błonnik Psyllium. W przypadku batonów z tym błonnikiem w formie mieszanki Jabł+Psyll,

zwłaszcza otrzymanych w procesie suszenia MK, krzywe sorpcji w atmosferze o średniej wilgotności (a_w 0,33-0,53) różniły się od izoterm pozostałych batonów, wykazując wyższe wartości, co może oznaczać ich większą higroskopijność podczas przechowywania. Ponadto, dodatek innych składników o zróżnicowanej właściwościach, a także gramaturze (nierównomiernie rozdrobnione pestki dyni, nasiona słonecznika, siemię lniane) i ich udział w 1-gramowych próbkach użytych do wyznaczania izoterm sorpcji mógł mieć wpływ na zróżnicowanie uzyskanych wyników.

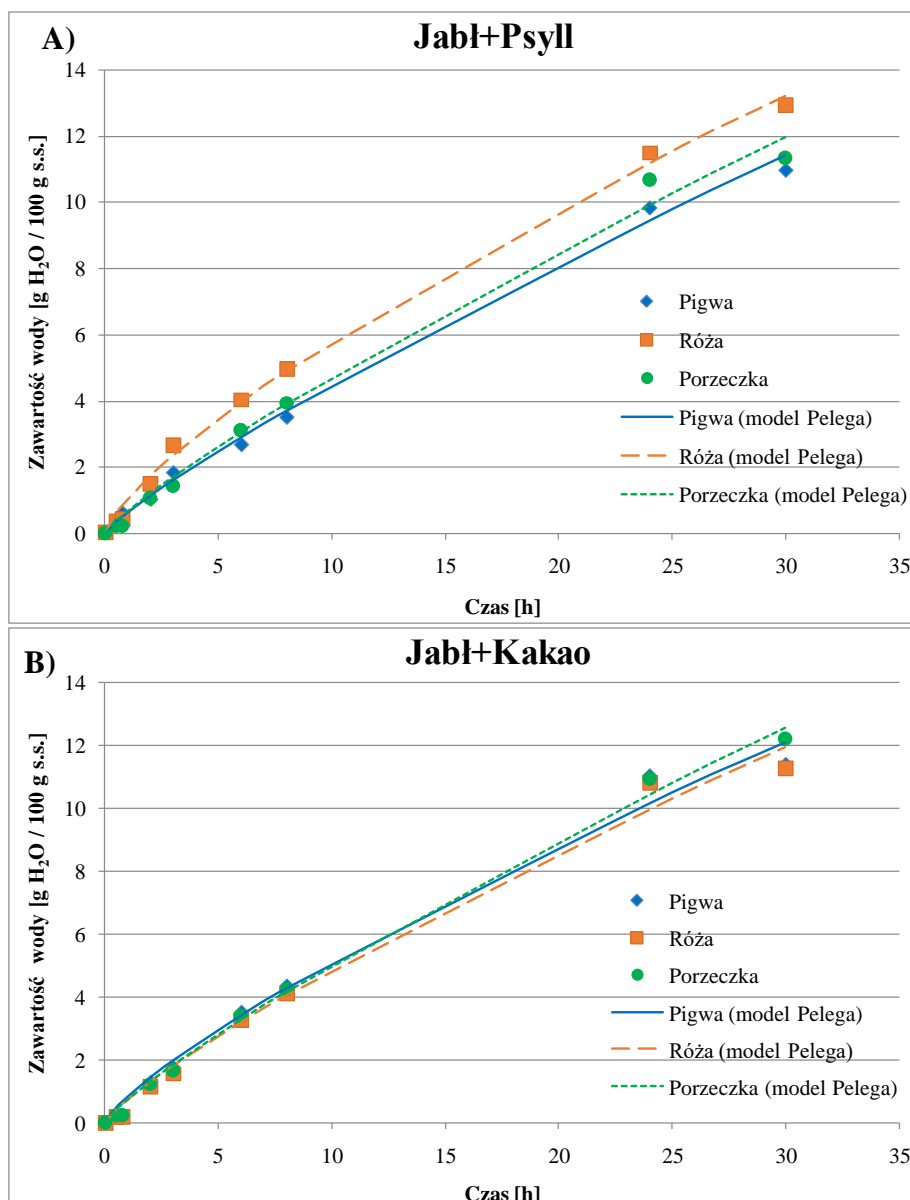
4.7.3. Wpływ metody otrzymywania i rodzaju błonnika na kinetykę sorpcji batonów wieloziarnistych pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną

Wyniki analizy kinetyki sorpcji wody batonów przedstawiono w Tab. 8 oraz na Rys. 15. Zastosowanie modelu Pelega (równanie [7]) pozwoliło na dokonanie trafnego opisu kinetyki sorpcji wody przez batony wieloziarniste przechowywane w środowisku o aktywności wody $a_w = 1$, ponieważ współczynniki determinacji były powyżej 99%.

Tabela 8. Zestawienie parametrów modelu Pelega wykorzystywanego do opisu kinetyki sorpcji batonów; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; oznaczenia C, B, D, E – parametry równania

Parametry modelu Pelega	Jabł+Psyll/ Pigwa	Jabł+Psyll/ Róża	Jabł+Psyll/ Porzeczka	Jabł+Kakao/ Pigwa	Jabł+Kakao/ Róża	Jabł+Kakao/ Porzeczka
C	0,441	0,365	0,537	0,296	0,474	0,482
B	0,854	0,751	0,849	0,788	0,820	0,836
D	0,183	0,661	0,129	0,534	0,261	0,250
E	0,854	0,751	0,849	0,788	0,820	0,836
R²	99,48	99,70	99,24	99,00	99,06	99,65

Dane eksperymentalne wskazały na bardziej zróżnicowane właściwości sorpcyjne (przebieg krzywych) batonów z mieszanką błonników jabłkowego i Psyllium (Rys. 15A) oraz zbliżone w batonach z mieszanką błonników jabłkowego i kakaowego (Rys. 15B), pod względem zastosowanego soku NFC zamiast wody. Zwiększoną sorpcją wody charakteryzowały się batony z błonnikami Jabł+Psyll i sokiem NFC z dzikiej róży (Rys. 15A).



Rysunek 15. Zawartość wody w funkcji czasu (g H₂O/100 g suchej substancji) w batonach zawierających mieszaniny błonnika jabłkowego i Psyllium (A) oraz błonnika jabłkowego i kakaowego (B), a także soki NFC z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki. Na rysunku umieszczono również krzywe dopasowania do danych eksperymentalnych, zgodnie z modelem Pelega

Zarówno w przypadku próbek z mieszanką błonników jabłkowego i Psyllium, jak również jabłkowego i kakaowego, następowało zwiększanie wilgoci batonów w czasie przechowywania. W przypadku wszystkich próbek, największa szybkość chłonięcia wody obserwowana była w początkowym okresie przechowywania, w przedziale czasu 0 – 3 h. Ze wszystkich badanych próbek największą szybkością sorpcji wody, jak również największym przyrostem zawartości wody w każdym analizowanym czasie charakteryzował się baton zawierający błonnik jabłkowy i Psyllium oraz sok z dzikiej róży (2,34 g wody/100 g s.s. po

pierwszych 3 h oraz 13,2 g wody/100 g s.s. po 30 h przechowywania). W pozostałych próbkach przyrost zawartości wody po 30 h wynosił 10,9-12,2 g wody/100 g s.s.

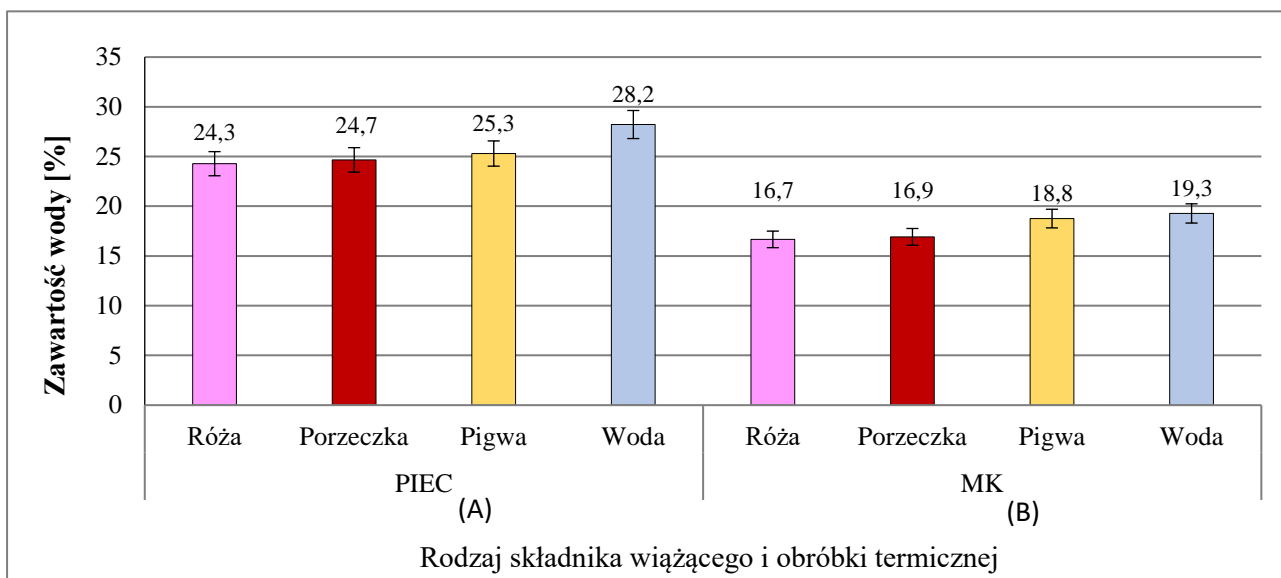
4.8. Wpływ modyfikacji receptury IIA na właściwości fizykochemiczne i wartość odżywczą batonów wieloziarnistych (ETAP III)

W kolejnym etapie badań oceniono wpływ metody otrzymywania na właściwości fizykochemiczne wieloziarnistych batonów pieczonych lub suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną. Podjęto też próbę zwiększenia atrakcyjności produktu poprzez zwiększenie wartości prozdrowotnej, wzbogacając batony w dodatkowe składniki naturalne. W tym celu wodę, stanowiącą spoiwo, zastąpiono sokami NFC w tej samej ilości, tzn. 30,5%. Zastosowano soki NFC z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki. W rozdziale 4.3-4.5. wykazano przydatność tych soków jako składników wiążących. Jednocześnie celem były też modyfikacje właściwości sensorycznych, polegające na zmianie smaku, zapachu, barwy i tekstury. Poniżej przedstawiono ocenę wpływu zmiany składnika wiążącego na wybrane wskaźniki jakości oraz wartość odżywczą batonów niezawierających błonnika, otrzymywanych metodą wypieku w piecu oraz poprzez suszenie mikrofalowo-konwekcyjne.

4.8.1. Wpływ rodzaju składnika wiążącego na zawartość i aktywność wody oraz pH wieloziarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną

Modyfikacją receptury batonów wieloziarnistych było zastąpienie wody jako składnika wiążącego sokami NFC z dzikiej róży, pigwy i czarnej porzeczki. Założono, iż zmiana ta prawdopodobnie nie wpłynie na zmiany zawartości i aktywności wody, ale pozwoli obniżyć pH, zwiększając tym samym trwałość mikrobiologiczną.

Na zawartość wody badanych próbek batonów rodzaj składnika wiążącego nie miał statystycznie istotnego wpływu, natomiast wykazano istotną różnicę w wartościach tego wskaźnika w przypadku próbek otrzymanych różnymi metodami (Rys. 16). Próbki pieczone w piecu miały istotnie wyższą, na poziomie 25,6%, zawartość wody od próbek otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (średnio 17,9%). Zaobserwowano, że w serii batonów pieczonych w celu zbadania wpływu rodzaju błonnika na zawartość w nich wody, uzyskane wartości były znacznie niższe (Rys. 5) w porównaniu z zastosowaniem soków NFC jako składników wiążących (Rys. 16). W batonach kontrolnych (batony kontrolne z wodą) zawartość wody była niższa o około 4,1 punktów procentowych, natomiast zastosowanie błonnika Jabł+Psyll spowodowało uzyskanie około 2-krotnie niższych wartości.



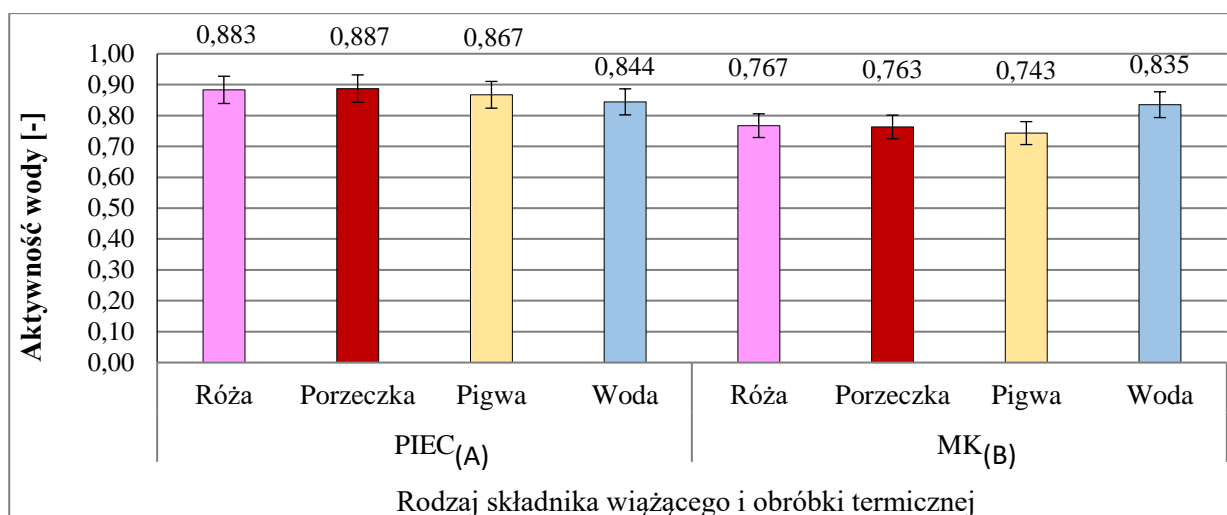
Rysunek 16. Wpływ rodzaju składnika wiążącego i obróbki termicznej na zawartość wody batonów wielozłaznistych bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; A, B – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu obróbki termicznej batonów przy $p \leq 0,05$; pominięto oznaczenia grup homogenicznych związanych z analizą wpływu składnika wiążącego, gdyż prawdopodobieństwo $p > 0,05$

Najwyższe zawartości wody odnotowano w próbkach spajanych wodą (28,2%) i pieczonych w piecu, natomiast najniższe w próbkach z sokiem z dzikiej róży, otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną (16,7%). Ponadto stwierdzono, że batony otrzymane metodą pieczenia charakteryzowały się znacznie wyższą zawartością wody, w zakresie 24,3-28,2%, a suszone na poziomie 16,7-19,3%. Jednakże w obu przypadkach zastosowanie soków NFC powodowało uzyskanie niższych zawartości wody w porównaniu do batonów z wodą.

Rodzaj składnika wiążącego dodanego do batonów nie miał istotnego wpływu na aktywność wody badanych próbek, natomiast wykazano istotną różnicę w wartościach tego parametru w przypadku próbek otrzymanych obiema metodami (Rys. 17).

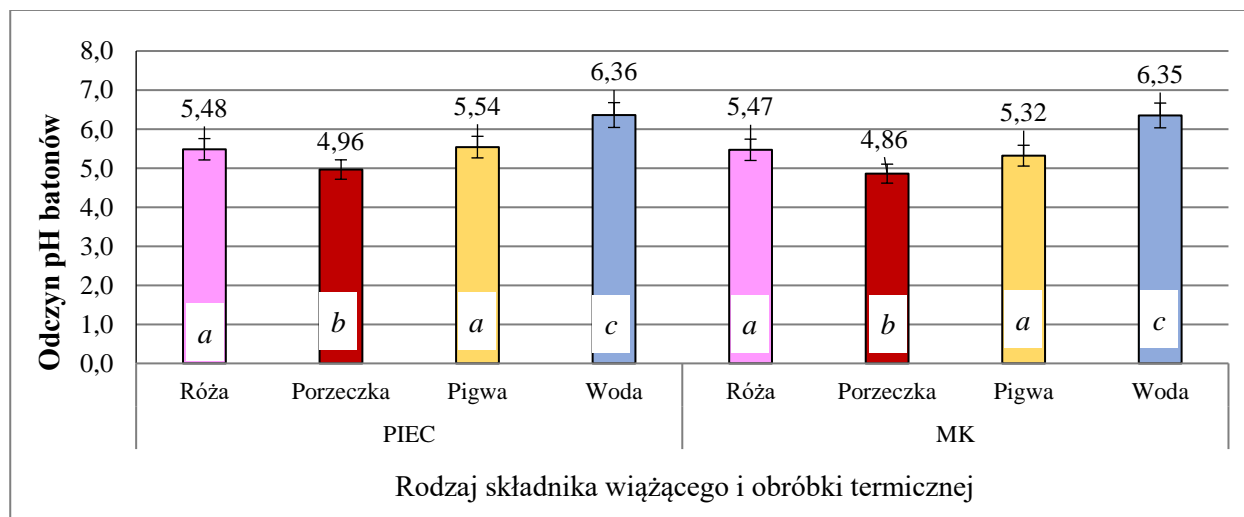
Niezależnie od soku NFC, próbki pieczone w piecu miały istotnie większe aktywności wody, od 0,844 do 0,887, w stosunku do próbek otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (od 0,743 do 0,835). Najwyższą wartość aktywności wody odnotowano w próbkach z sokiem z czarnej porzeczki (0,887) pieczonych w piecu, natomiast najniższą w próbkach z sokiem z pigwy (0,743), otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną.

Zaobserwowano, że zastosowanie soków NFC jako składników wiążących zamiast wody powodowało do około 5% wyższe wartości aktywności wody batonów pieczonych. Natomiast w przypadku batonów suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie zastosowanie soków NFC spowodowało do 11% niższe wartości aktywności wody.



Rysunek 17. Wpływ rodzaju składnika wiążącego i obróbki termicznej na aktywność wody batonów wieloziarnistych bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; A, B – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu obróbki termicznej przy $p \leq 0,05$; pominięto oznaczenia grup homogenicznych związanych z analizą wpływu składnika wiążącego, gdyż prawdopodobieństwo $p > 0,05$

Rodzaj składnika wiążącego w recepturze batonów miał istotny wpływ na odczyn pH badanych próbek, natomiast wykazano brak istotnego wpływu metody ich otrzymywania na pH batonów (Rys. 18).



Rysunek 18. Wpływ rodzaju składnika wiążącego i obróbki termicznej na odczyn pH batonów wieloziarnistych bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a, b, c – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu rodzaju składnika wiążącego przy $p \leq 0,05$; pominięto oznaczenia grup homogenicznych związanych z analizą wpływu rodzaju obróbki termicznej, gdyż prawdopodobieństwo $p > 0,05$ (Tab. 26/Aneks)

Zaobserwowano, że w porównaniu do wpływu preparatów błonnikowych na odczyn pH (6,22-6,49) (Rys. 7), użycie soków NFC jako składników wiążących w znacznie większym

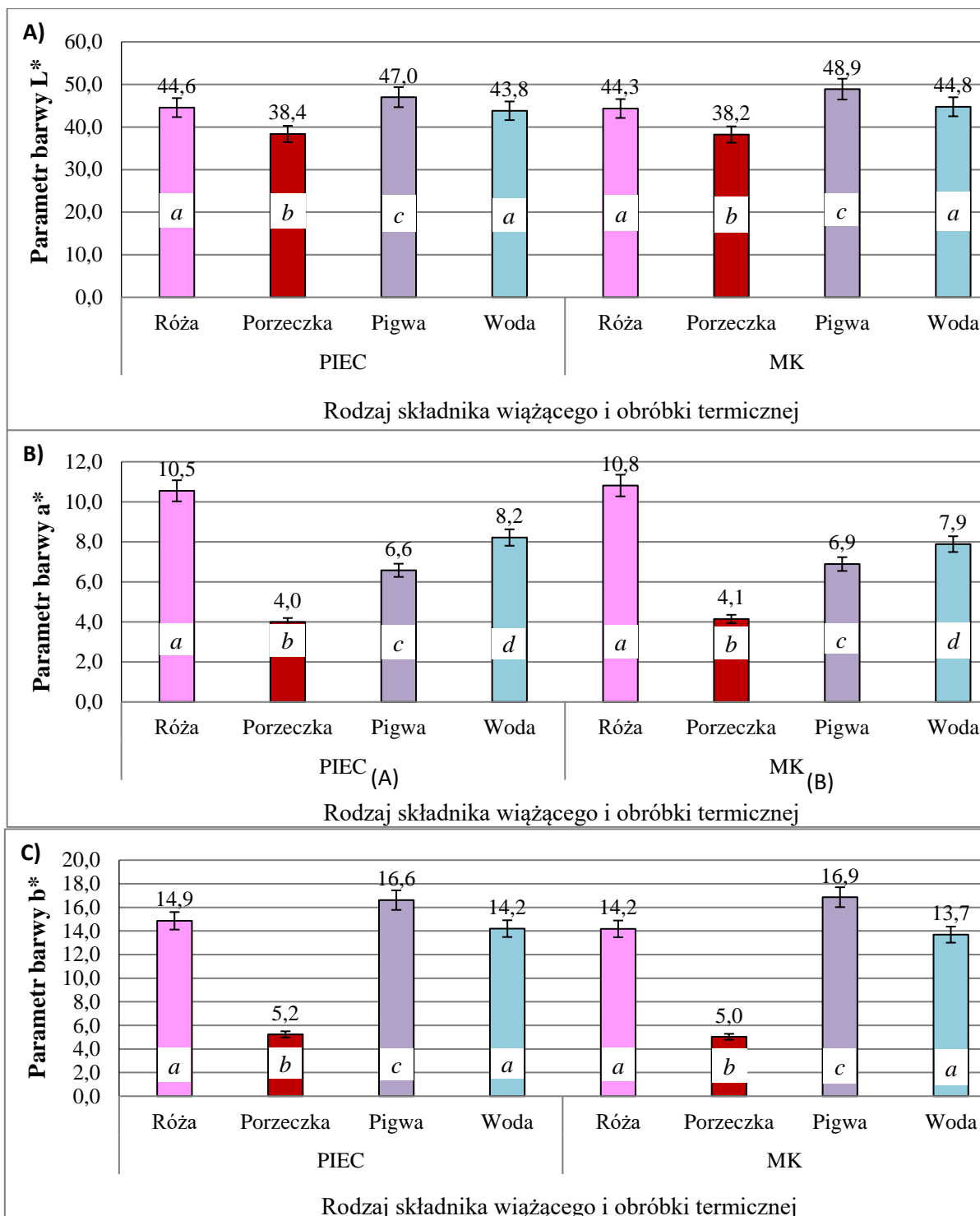
stopniu wpłynęło na obniżenie pH batonów pieczonych (4,96-6,36) (Rys. 18). Najwyższą wartość pH odnotowano dla próbek z wodą jako składnikiem wiążącym, pieczonych w piecu (średnio 6,36), natomiast najniższą dla próbek z sokiem z czarnej porzeczki (średnio 4,86), otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną.,

Zastosowanie poszczególnych składników spajających spowodowało uzyskanie zbliżonych wartości pH w batonach otrzymywanych obiema metodami (Rys. 18). Użycie soku NFC z czarnej porzeczki spowodowało obniżenie odczynu pH w obu rodzajach batonów do 4,86-4,96, podczas gdy z użyciem wody pH wynosiło 6,35-6,36. Większe różnice, od 5,32 do 5,54, dotyczyły wykorzystania soku z pigwy. Należy podkreślić, że zastąpienie wody sokami NFC spowodowało obniżenie odczynu pH o 0,8-1,5 stopnia. Zatem obniżenie pH batonów pozwoliło zwiększyć ich bezpieczeństwo zdrowotne i w konsekwencji przedłużyć termin przydatności do spożycia. Niższe pH wiąże się również z większym zachowaniem niektórych składników żywości i barwy.

Podsumowując, zastosowanie soków jako alternatywnych wobec wody składników wiążących w recepturze batonów wpływały one znacząco przede wszystkim na obniżenie odczynu pH i tym samym zwiększenie trwałości tych produktów. Zmianie uległa też zawartość i aktywność wody batonów pieczonych, podczas gdy w batonach suszonych wartości te były bardziej zbliżone. Potwierdza to możliwość wykorzystania soków NFC do wytwarzania batonów wieloziarnistych, zarówno jako składniki wzbogacające, jak i pełniące funkcję technologiczną. Jak wykazali Szwedziak i wsp. [2017], ważnym aspektem w użyciu tych soków jest zawartość składników o właściwościach prozdrowotnych, która jest znacznie większa od soków odtwarzanych. Soki te są istotnym źródłem wielu składników, zwłaszcza witamin, składników mineralnych, błonnika pokarmowego oraz flawonoidów i antocyjanów. Związki o właściwościach antyoksydacyjnych zapobiegają wielu chorobom, m.in. uszczelniając naczynia krwionośne i przeciwdziałając różnym stanom zapalnym. W ten sposób wpisują się w trend tzw. „zdrowego stylu życia” [Trojanowicz 2015]. Od strony technologicznej z dużą korzyścią soki NFC mogą zastąpić wodę, zarówno jako składnik wiążący masę batonową jak i kształtowanie trwałości produktu.

4.8.2. Wpływ rodzaju składnika wiążącego na barwę wieloziarnistych batonów pieczonych i suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną

Rodzaj składnika wiążącego dodawanego do batonów miał istotny wpływ na parametry barwy L*, a*, b* badanych próbek (Rys. 19A, B, C).



Rysunek 19. Parametry barwy wielozarnistych batonów bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie: A) L*, B) a*, C) b*; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a, b, c – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu rodzaju składnika wiążącego przy $p \leq 0,05$ (Tab. 27/Aneks)

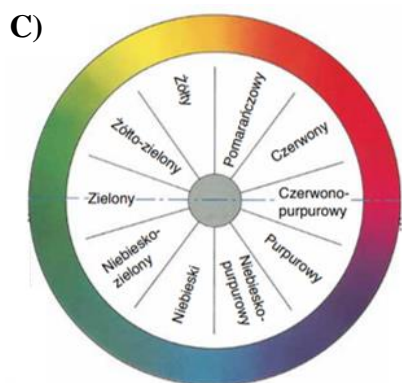
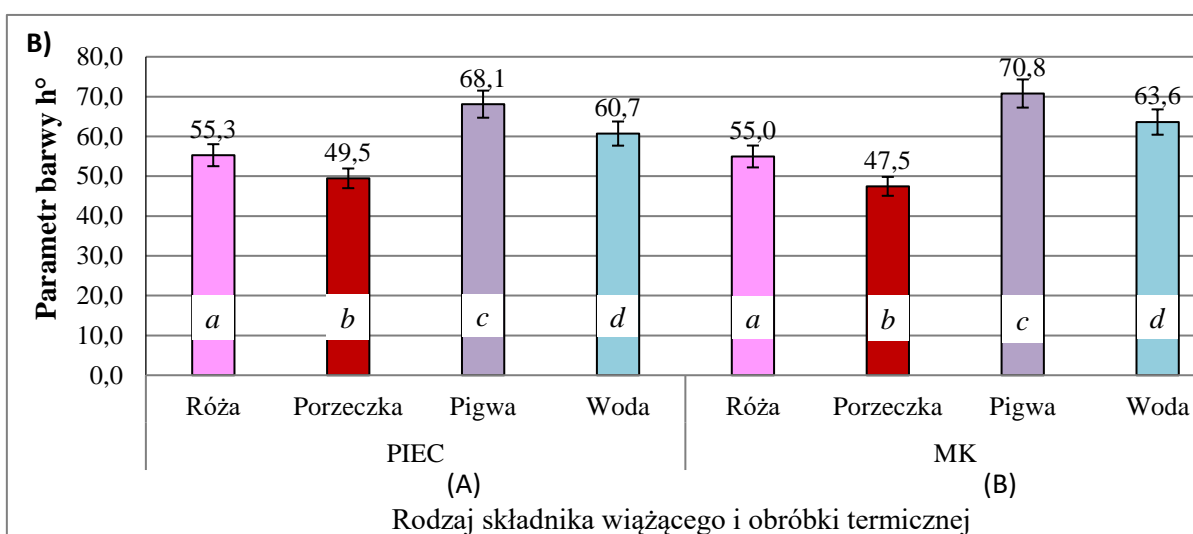
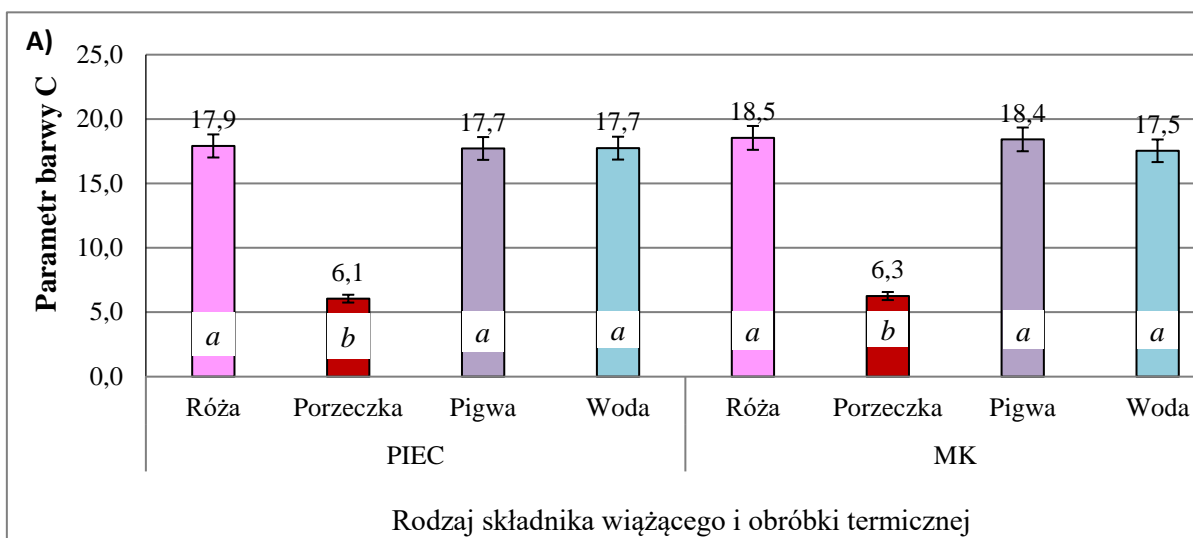
Natomiast wykazano brak istotnego statystycznie wpływu metody otrzymywania batonów na te parametry. W przypadku parametru L* wyznaczono trzy grupy homogeniczne (Rys. 19A). Do jednej grupy homogenicznej zaliczono batony z wodą i z sokiem z dzikiej róży, niezależnie

od metody otrzymania. Do dwóch kolejnych zaliczono batony z sokiem z czarnej porzeczki i batony z sokiem z pigwy. Najwyższe wartości parametru L^* , uznane za bardzo atrakcyjne, odnotowano dla próbek z sokiem z pigwy otrzymanych w wyniku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (około 48,9) oraz pieczonych w piecu (około 47,0). Najciemniejszą barwą odznaczały się batony z sokiem z czarnej porzeczki, otrzymane metodą mikrofalowo-konwekcyjną (38,2) oraz pieczone w piecu (około 38,4). Należy podkreślić dużą przydatność soku z pigwy do uzyskania jaśniejszej, zatem atrakcyjniejszej, barwy batonów w porównaniu z dodatkiem wody.

W przypadku parametru barwy a^* badanych próbek batonów (Rys. 19B) wyznaczono cztery grupy homogeniczne, zależnie od rodzaju składnika wiążącego. Każdy rodzaj próbek, w zależności od rodzaju składnika wiążącego, należał do innej grupy homogenicznej. Najwyższe wartości parametru a^* odnotowano dla próbek z sokiem z dzikiej róży (około 10,8) otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną oraz pieczonych w piecu (około 10,5), natomiast najniższe dla próbek z sokiem z czarnej porzeczki otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną (około 4,1) oraz wypieczonych w piecu (około 4,0).

Badając wpływ rodzaju składnika wiążącego na parametr barwy b^* batonów (Rys. 19C), wyznaczono trzy grupy homogeniczne. Do jednej grupy zaliczono batony wytwarzane z wodą i z sokiem z dzikiej róży, niezależnie od metody otrzymywania. Do dwóch kolejnych zaliczono batony z sokiem z czarnej porzeczki oraz batony z sokiem z pigwy. Najwyższe wartości parametru b^* , świadczące o większym udziale barwy żółtej, odnotowano w próbkach z sokiem z pigwy, otrzymanych zarówno metodą mikrofalowo-konwekcyjną (średnio 16,9), jak i pieczonych w piecu (średnio 16,6). Najniższymi wartościami odznaczały się próbki z sokiem z czarnej porzeczki (średnio 5,0), otrzymane metodą mikrofalowo-konwekcyjną jak i pieczone (średnio 5,2).

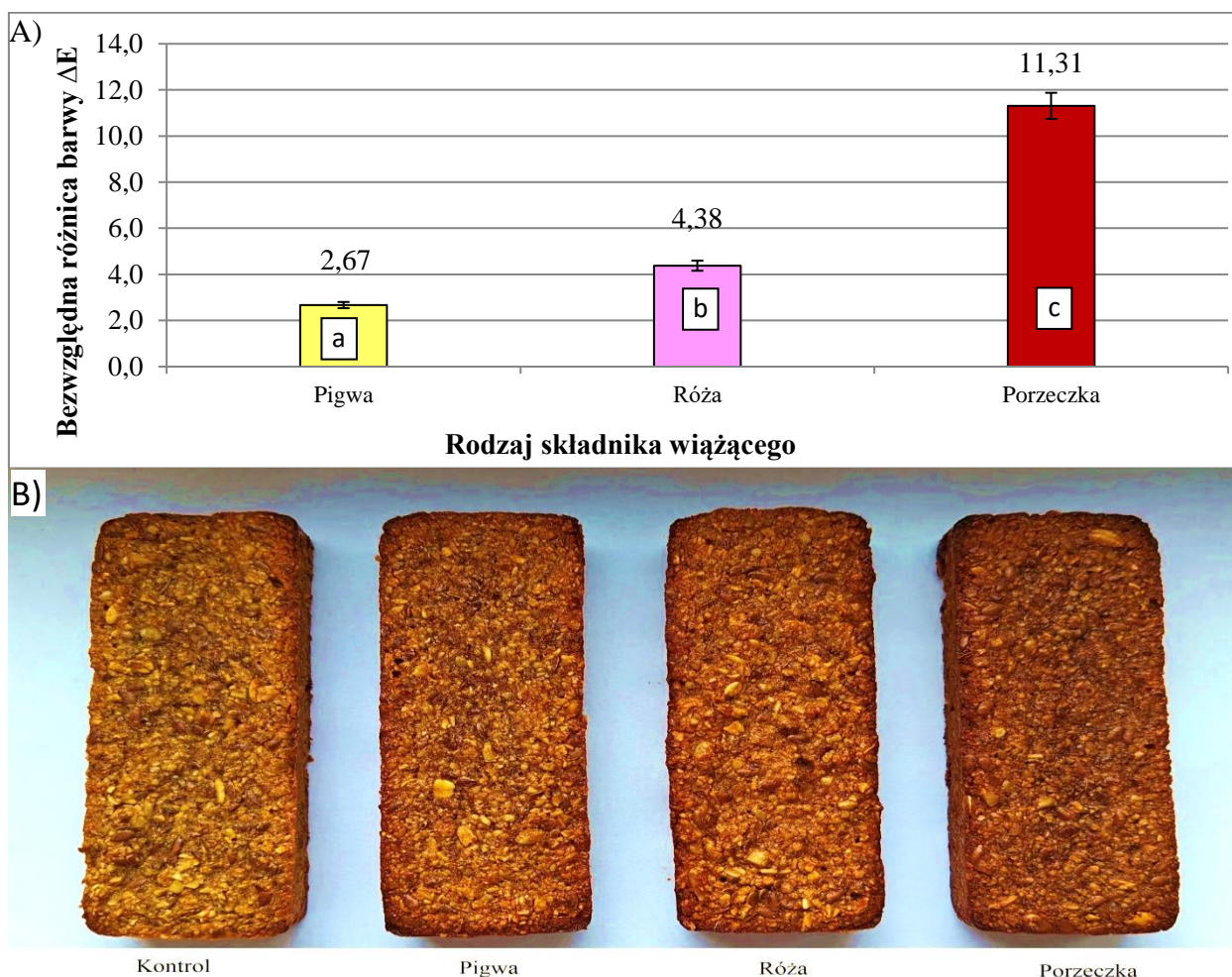
Parametr barwy C, tj. nasycenie barwy batonów wieloziarnistych, zależał istotnie statystycznie od rodzaju składnika wiążącego, natomiast wykazano brak istotnego wpływu metody ich otrzymywania na ten parametr (Rys. 20A). Wyznaczono dwie grupy homogeniczne. Do jednej grupy homogenicznej zaliczono batony z wodą i sokiem z dzikiej róży oraz z sokiem z pigwy, niezależnie od metody ich otrzymania. Do drugiej grupy zaliczono batony z sokiem z czarnej porzeczki. Wyższe wartości parametru C, zatem większe nasycenie barwy, odnotowano w próbkach z sokiem z pigwy (średnio 18,4), otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną, a także pieczonych w piecu (średnio 17,7). Zastosowanie soku z czarnej porzeczki w recepturze batonów spowodowało znaczące obniżenie odcienia barwy batonów otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną (średnio 6,3) i podobnie, pieczonych w piecu (średnio 6,1).



Rysunek 20. Parametry barwy wieloziarnistych batonów bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie: A) nasycenie barwy C, B) ton barwy h°; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a, b, c... – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu rodzaju składnika wiążącego; A, B – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu obróbki termicznej, przy $p \leq 0,05$; C) koło barw [Internet 10]; (Tab. 27/Aneks)

Rodzaj składnika wiążącego przy wytwarzaniu ciasta batonowego miał istotny wpływ na ton barwy h° badanych próbek. Jednocześnie wykazano istotny wpływ metody otrzymywania batonów na ten parametr barwy (Rys. 20B). Każda próbka batonów, w zależności od rodzaju składnika wiążącego, należała do innej grupy homogenicznej. Najwyższą wartość parametru h° , na kole barw odpowiadającej barwie żółto-pomarańczowej (Rys. 20C), odnotowano dla próbek z sokiem z pigwy (średnio 70,8), otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną, a także z sokiem z dzikiej róży, pieczonych w piecu (średnio 68,1). Znacznie niższe wartości, o barwie bardziej czerwonej, odnotowano w przypadku próbek z sokiem z czarnej porzeczki, otrzymanych obiema metodami, tj. w wyniku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (średnio 47,5) i pieczenia (średnio 49,5).

Wpływ składników wiążących na barwę batonów oceniono na podstawie bezwzględnej różnicy barwy ΔE i poparto zdjęciami batonów (Rys. 21).



Rysunek 21. A) Wpływ rodzaju składnika wiążącego w postaci soków NFC na bezwzględną różnicę barwy ΔE batonów wieloziarnistych (bez dodatku błonnika) w stosunku do batonu kontrolnego wraz z fotografią porównawczą (B); oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a, b, c – oznaczenia grup homogenicznych przy $p \leq 0,05$ (Tab. 28/Aneks)

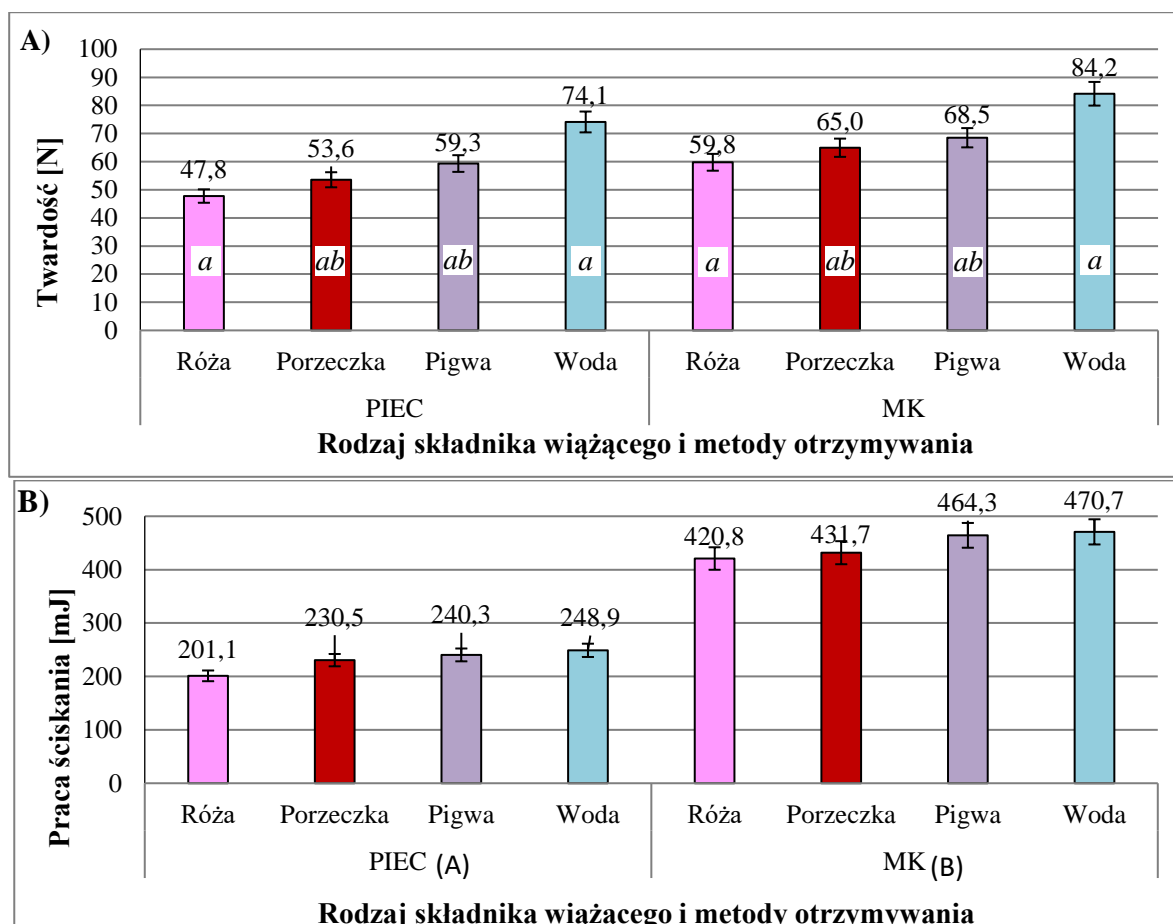
Wpływ składników wiążących na barwę batonów oceniono na podstawie bezwzględnej różnicy barwy ΔE (Rys. 21), którą wyznaczono jako różnicę wartości parametrów barwy L^* , a^* , b^* batonów z sokami NFC w odniesieniu do barwy batonów kontrolnych (z wodą, bez błonnika). Stwierdzono, iż zastosowane soki w istotny sposób wpływały na zmianę barwy batonów. Wartości bezwzględnej różnicy barwy były zróżnicowane. Bezwzględna różnica barwy batonów z sokiem z róży i czarnej porzeczki przekraczały wartość progową 3,5, powyżej której różnice barwy są dostrzegalne nawet przez niedoświadczonego obserwatora. Najniższą wartością, a tym samym barwą najbardziej podobną do barwy batonów kontrolnych odznaczały się batony z sokiem z pigwy (średnio 2,7), a najwyższymi barwa batonów z sokiem z czarnej porzeczki (średnio 11,3). W przypadku zastosowania soku z dzikiej róży, wartość ΔE była pośrednia, jakkolwiek zbliżona do barwy batonów z sokiem z pigwy. W porównaniu z wartością uzyskaną dla próbek z sokiem z czarnej porzeczki wskaźniki ΔE były blisko 3 krotnie niższe.

4.8.3. Wpływ rodzaju składnika wiążącego na właściwości tekstury wieloziarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną

Na **twardość** batonów istotnie wpływał rodzaj składnika wiążącego, który stanowiła woda lub soki NFC (Rys. 22A). Oceniając zastosowanie soków NFC jako składników wiążących, niezależnie od metody otrzymywania batonów, wykazano zmniejszenie twardości wszystkich próbek, w porównaniu z użyciem wody. Najniższą twardością odznaczały się batony z sokiem z dzikiej róży (47,8-59,8 N), a najwyższą spośród tych z sokami odznaczały się batony z sokiem z pigwy (59,3-68,5 N). Sok z czarnych porzeczek powodował uzyskanie wyników pośrednich, dlatego baton z tym sokiem wraz z próbką z sokiem z pigwy znalazły się w obu grupach homogenicznych. Najwyższą wartość twardości odnotowano w przypadku próbek z wodą (84,2 N), otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną, natomiast najniższą dla próbek z sokiem z dzikiej róży (47,8 N), pieczonych w piecu. W przypadku obu metod stwierdzono istotne różnice w twardości batonów z sokiem z dzikiej róży w porównaniu z próbkami zawierającymi wodę.

Wykazano istotne różnice w wartościach tego parametru, zależnie od metody termicznej (pieczenie, suszenie) (Rys. 22A). Metoda suszenia konwekcyjno-mikrofalowego powodowała zwiększenie twardości batonów, w zakresie od 59,8 do 84,2 N. Baton pieczony był bardziej miękki, a ich twardość była niższa o 12-20%, w porównaniu do batonów suszonych. Porównując twardość batonów badaną w serii prób wykonanych w celu określenia wpływu rodzaju błonnika (Rys. 8) wykazano, że batony kontrolne (z wodą) odznaczały się niższymi

wartościami tego wskaźnika (56,2 N) niż w tej serii badań (74,1 N) (Rys. 22A). Mogło to wynikać z różnych warunków pieczenia, w tym parametrów otoczenia (wilgotność, temperatura powietrza). Jednakże, pomimo niższej twardości batonów bazowych, udział błonników, zwłaszcza Psyllium i jabłkowego oraz kakaowego, powodował znacznie większą twardość batonów pieczonych.

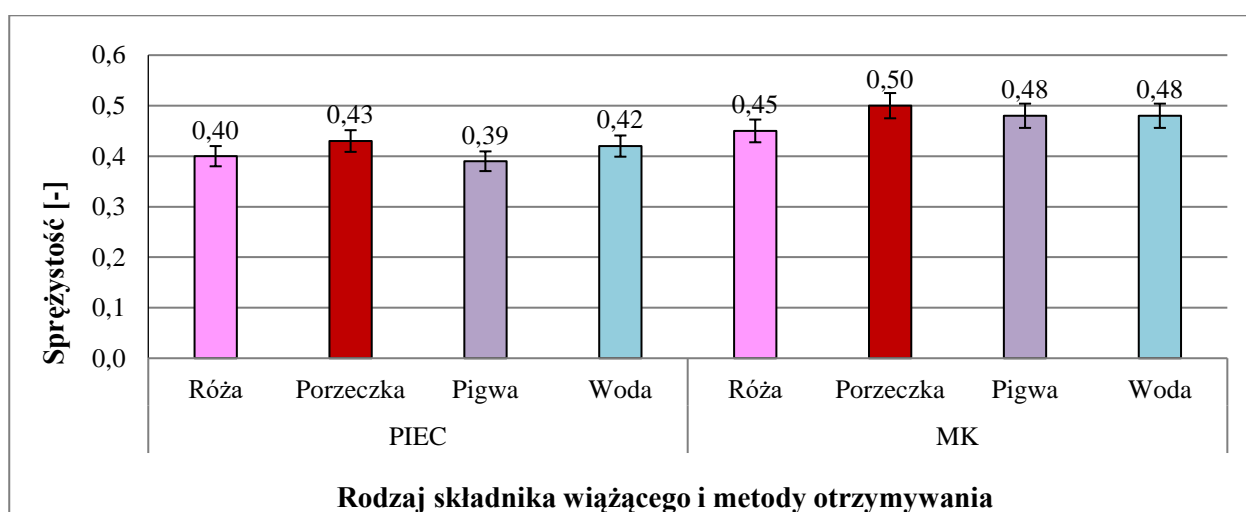


Rysunek 22. Wpływ rodzaju składnika wiążącego i metody otrzymywania na: A) twardość i B) pracę ściskania batonów wieloziarnistych bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; a, b – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu rodzaju składnika wiążącego; A,B – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących obróbki termicznej, przy $p \leq 0,05$ lub brak, gdy prawdopodobieństwo $p > 0,05$ (Tab. 29 i 30/Aneks)

Rodzaj składnika wiążącego dodawanego do batonów nie miał istotnego wpływu na **pracę ściskania** badanych próbek batonów, ale zaobserwowano pewne tendencje (Rys. 22B). W obu metodach otrzymywania batonów zastosowanie soków NFC zamiast wody spowodowało nieznaczne obniżenie wartości pracy ściskania. Mogło to być wynikiem oddziaływania wiążącego składniki ziarniste lub wnikania składników soku do masy batonów.

Wykazano istotną różnicę w wielkości pracy ściskania w przypadku próbek otrzymanych różnymi metodami. Próbki wypieczone w piecu miały istotnie niższą średnią wartość pracy

ściskania, od 201,1 do 248,9 mJ, w porównaniu do próbek otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego, które wymagały około 2-krotnie większej pracy w teście ściskania batonów. Najwyższe wartości odnotowano dla próbek, otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną, w których składnikiem wiążącym była woda (około 470,7 mJ), natomiast najniższe dla próbek z sokiem z dzikiej róży (około 201,13 mJ), wypieczonych w piecu. Oceniając pracę ściskania pieczonych batonów z wodą w tej serii (Rys. 22B) i w I etapie badań (Rys. 8), uzyskano zbliżone wartości, odpowiednio 248,9 i 237,3 mJ. Natomiast zastosowanie preparatów błonnikowych w większości batonów powodowało zwiększenie pracy ściskania, największe w batonach z błonnikiem kakaowym (435,8 mJ). Wartość ta była jednocześnie zbliżona do uzyskanej w batonach z wodą lub sokami NFC po suszeniu mikrofalowo-konwekcyjnym.



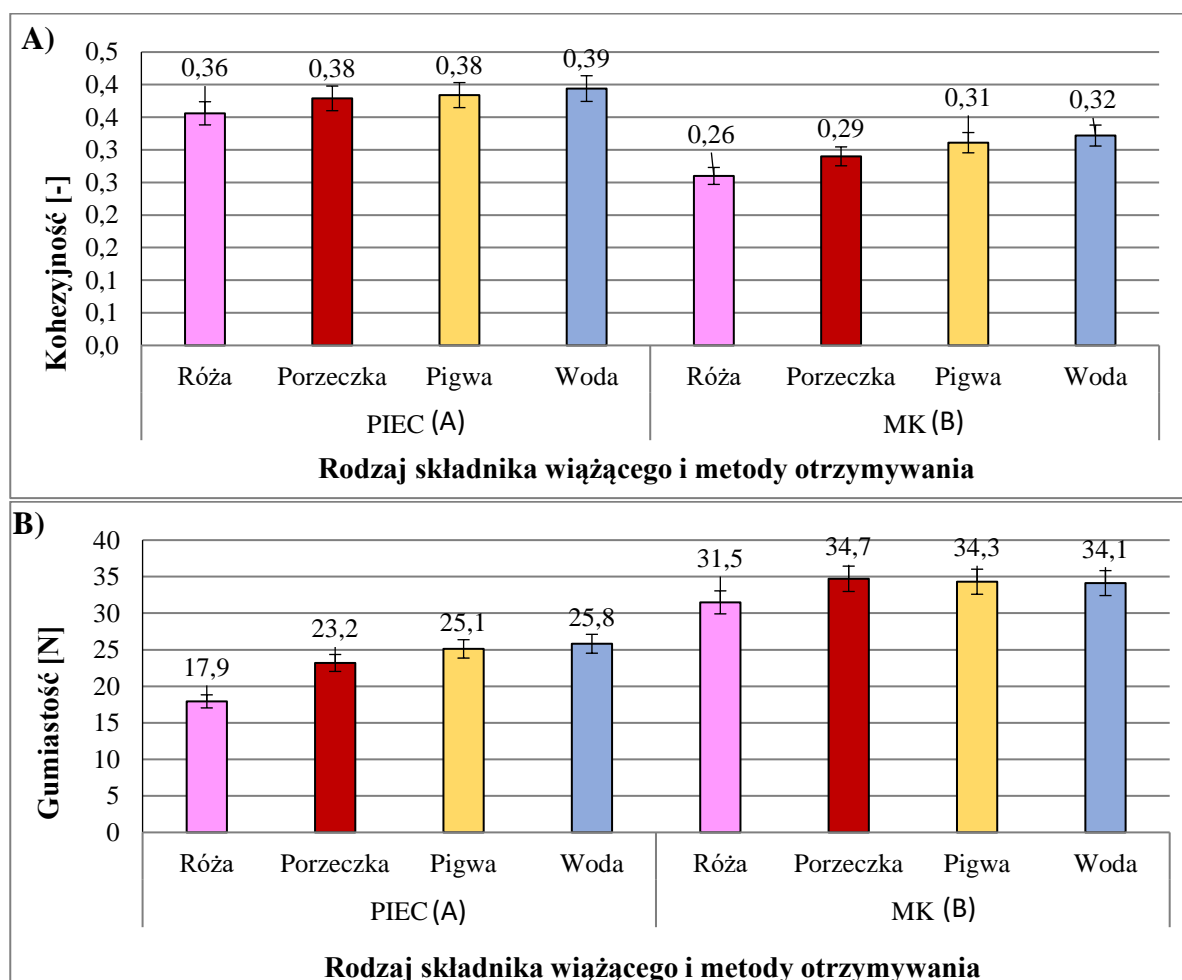
Rysunek 23. Wpływ rodzaju składnika wiążącego i metody otrzymywania na sprężystość batonów wieloziarnistych bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; pominięto oznaczenia grup homogenicznych związanych z analizą wpływu obu czynników, gdyż prawdopodobieństwo $p > 0,05$

Metoda obróbki termicznej oraz rodzaj składnika wiążącego nie miały istotnego wpływu na **sprężystość** badanych batonów wieloziarnistych (Rys. 23). Zaobserwowano jednak pewne tendencje. Batoniki pieczone wykazywały nieznacznie niższą sprężystość w porównaniu z suszonymi. W przypadku zastosowania soku z dzikiej róży sprężystość batonów była nieznacznie niższa od pozostałych, niezależnie od metody otrzymywania.

Kohezyjność badanych batonów nie zależała od rodzaju składnika wiążącego ($p > 0,05$) (Rys. 24A). Niezależnie od metody otrzymywania, zastosowanie soków NFC z dzikiej róży, czarnej porzeczki i pigwy dało bardzo zbliżone wartości do uzyskanych z użyciem wody jako składnika wiążącego, tj. w zakresie 0,36-0,39 w próbkach pieczonych i 0,26-0,32 w próbkach

suszonych. Jednocześnie spośród badanych próbek, te z wodą wykazywały wyższą kohezyjność, a z sokiem z róży niższą.

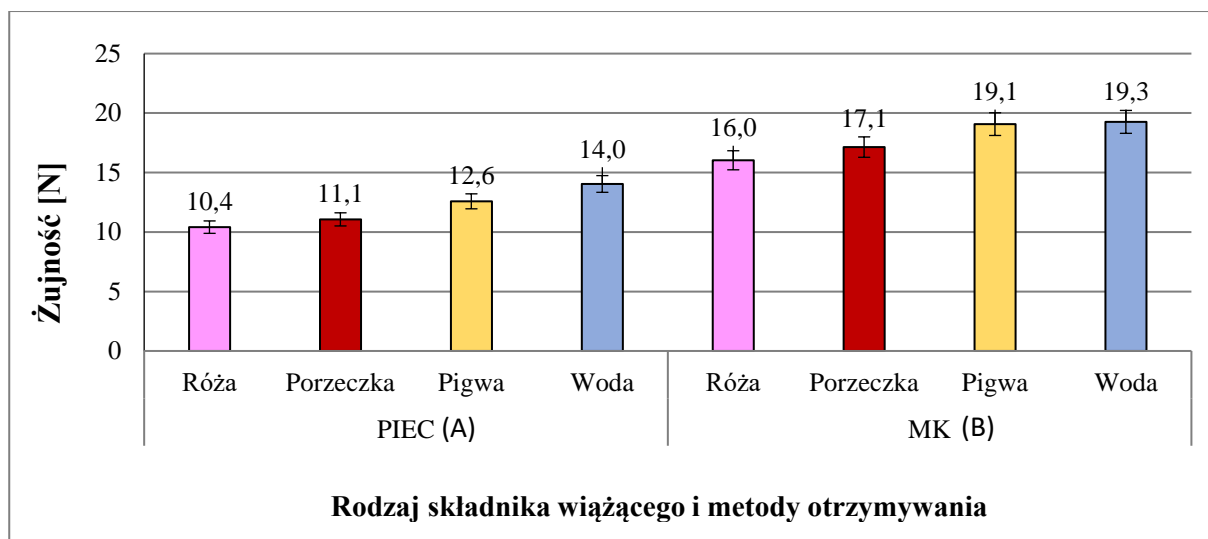
Wykazano istotną różnicę w wartościach tego parametru zależnie od metody otrzymania batonów (Rys. 24A). Batonny pieczone w piecu wykazywały istotnie wyższe wartości kohezyjności (0,36-0,39) od próbek otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (0,26-0,32). Najwyższą wartość odnotowano w próbkach batonów wiązanych wodą i wypieczonych w piecu (średnio 0,39), a najniższą w próbkach z sokiem z dzikiej róży (średnio 0,26), otrzymaną metodą mikrofalowo-konwekcyjną. Batonny otrzymane w tej serii badań (Rys. 24A) charakteryzowały się niemal 2-krotnie wyższą kohezyjnością w porównaniu do badanych w I etapie badań (Rys. 9A). Jedynie kohezyjność batonów z Psyllium była znacznie wyższa (średnio 0,46), niż w batonach z sokiem NFC.



Rysunek 24. Wpływ rodzaju składnika wiążącego i metody otrzymania na: A) kohezyjność i B) gumiastość batonów wielozłarnistych bez dodatku błonnika, pieczonych i suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; A, B – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu obróbki termicznej przy $p \leq 0,05$; pominięto oznaczenia grup homogenicznych związanych z analizą wpływu składnika wiążącego, gdyż prawdopodobieństwo $p > 0,05$ (Tab. 30/Aneks)

Badając **gumiastość** batonów, wykazano, że podobnie jak kohezijność, nie zależała ona od rodzaju składnika wiążącego dodawanego do ciasta batonowego ($p > 0,05$) (Rys. 24B). Jednakże, wykazano istotny wpływ metody ich otrzymania. Próbkę wypieczone w piecu wykazywały istotnie niższe wartości (17,9-25,8 N) tego wskaźnika w stosunku do próbek otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (31,5-34,7 N). Najwyższą wartość odnotowano dla próbek z sokiem z czarnej porzeczki (średnio 34,7 N), otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną, natomiast najniższą dla próbek z sokiem z dzikiej róży (średnio 17,9) pieczonych w piecu. Baton kontrolny (z wodą) badane w tej serii badań (Rys. 24B) odznaczały się ponad 2-krotnie wyższą gumiastością w porównaniu do badanych w I etapie badań (Rys. 9B). Podobnie, jak kohezijność, batony z Psyllium wykazywały najwyższą gumiastość (34,7), ale gumiastość większości pozostałych batonów z innymi błonnikami była znacznie porównywalna lub niższa w niż po dodaniu soków NFC.

Rodzaj składnika wiążącego dodawanego do batonów nie miał istotnego wpływu na **żujność** badanych próbek, ale zaobserwowano pewne tendencje (Rys. 25). Niezależnie od metody otrzymywania batonów, stwierdzono zwiększanie żujności zgodnie z kolejnością użycia soku z róży, następnie czarnej porzeczki i pigwy oraz wody jako składnika wiążącego. Wykazano istotną różnicę w wielkości tego wskaźnika w przypadku próbek otrzymanych metodą pieczenia i suszenia.



Rysunek 25. Wpływ rodzaju składnika wiążącego i obróbki termicznej (pieczenie, suszenie mikrofalowo-konwekcyjne) na żujność batonów wieloziarnistych bez dodatku błonnika; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; A, B – oznaczenia grup homogenicznych dotyczących wpływu obróbki termicznej przy $p \leq 0,05$; pominięto oznaczenia grup związanych z analizą wpływu składnika wiążącego, gdyż prawdopodobieństwo $p > 0,05$ (Tab. 30/Aneks)

Próbki wypieczone w piecu wykazywały istotnie niższe wartości wskaźnika żujności, od 10,4 do 14,0 N, w porównaniu do próbek otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego, od 16,0 do 19,3 N. Najwyższą wartość odnotowano dla próbek z użyciem wody (średnio 19,3 N) po suszeniu mikrofalowo-konwekcyjnym, natomiast najniższą dla próbek z użyciem soku z dzikiej róży (około 10,4 N) wypieczonych w piecu. Batony kontrolne (z wodą) badane w tej serii badań (Rys. 25) odznaczały się znacznie wyższą żujnością, około 2,5-krotnie wyższą w porównaniu do badanych w I etapie badań (Rys. 9B). Podobnie, jak w przypadku kohezyjności, gumiaistości i sprężystości, batony z Psyllium wykazywały najwyższą żujność (34,7), która była około 2-krotnie wyższa w niż po dodaniu soków NFC.

Podsumowując badanie profilu tekstury batonów, można stwierdzić, że ze względu na porównywalny do użycia wody jako składnika wiążącego, wpływ soków NFC na wartości poszczególnych wskaźników TPA, ich zastosowanie może znaleźć zastosowanie praktyczne i być wykorzystane do wytwarzania batonów w większej skali. W porównaniu do badanych preparatów błonnikowych, pod względem wszystkich wskaźników tekstury TPA soki NFC konkurują jedynie z błonnikiem Psyllium. Sprężystość i żujność batonów z błonnikiem Psyllium była około 2-krotnie, a gumiaistość o około 50% większa, w porównaniu do batonów z wodą lub sokami NFC. Zastosowanie suszenia mikrofalowo-próżniowego powodowało znaczące zwiększenie wskaźników profilu tekstury batonów, w porównaniu do pieczonych. Analizując zastosowanie odpowiedniej metody otrzymywania batonów wieloziarnistych, oprócz tradycyjnego pieczenia, realna wydaje się możliwość wykorzystania wybranych metod suszenia. Z uwagi na uzyskanie batonów suszonych o większej twardości zasadne jest zastosowanie mniejszej grubości, by produkt był bardziej twardy, łamiący i chrupki [Kowalska i wsp. 2023].

4.8.4. Wpływ rodzaju składnika wiążącego na zawartość polifenoli ogółem oraz aktywność przeciwutleniającą wieloziarnistych batonów pieczonych

Jednym z ważniejszych celów dodania soków NFC do receptury batonów było wzbogacenie tych produktów przekąskowych w dodatkowe naturalne składniki bioaktywne [Czajkowska i Kowalska 2017]. W ostatnich latach zaleca się zwiększenie udziału w diecie owoców i warzyw, które można spożywać w różnej formie. Wygodną formą są świeżo tłoczone soki NFC. Jak wykazano w poprzednich rozdziałach, można je też wykorzystywać jako spoiwo w produkcji batonów wieloziarnistych.

Zastosowanie soków NFC do wytwarzania batonów znacząco je wzbogaciło w związki polifenolowe i zwiększyło aktywność antyoksydacyjną (Tab. 9). Stwierdzono istotne różnice

w zawartości związków polifenolowych w analizowanych batonach, zależnie od rodzaju składnika wiążącego. Wyodrębniono trzy grupy homogeniczne.

Tabela 9. Wpływ rodzaju składnika wiążącego na zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniającą batonów wieloziarnistych bez dodatku błonnika; a, b, c – oznaczenia grup homogenicznych przy $p \leq 0,05$. (Tab. 31/Aneks)

Metoda	Substancja wiążąca	Polifenole ogółem [mg kw.GAE/100g s.s.]	Aktywność przeciwutleniająca [μ M Troloxu/100g s.s.]
PIEC	Bazowy (Psyllium)	334,60 ^b ±11,10	23,06 ^a ±1,10
	Pigwa	374,71 ^a ±4,80	35,39 ^b ±1,04
	Róża	381,35 ^a ±7,65	36,20 ^b ±0,69
	Porzeczka	435,39^c±10,38	36,46^b±0,47
	Woda	333,25 ^b ±13,23	23,27 ^a ±0,50

Najwyższymi wartościami polifenoli ogółem charakteryzowały się batony z dodatkiem soku z czarnej porzeczki (średnio 435,39 mg GAE/100 g s.s.), które stanowiły odrębną grupę homogeniczną. Wynikało to przede wszystkim z zawartości naturalnych przeciwutleniaczy w owocach czarnej porzeczki, która jest jednym z największych źródeł tych związków. Najniższą zawartość polifenolo ogółem oznaczono w batonach zawierających w składzie wodę, średnio 333,25 mg GAE w 100 g s.s. Podobnie, w przypadku analizy aktywności przeciwutleniającej batonów, stwierdzono istotne różnice w uzyskanych wartościach dla próbek z dodatkiem soków NFC względem pozostałych produktów. Potwierdziła to analiza statystyczna, w wyniku której batony z dodatkiem soków sklasyfikowano w jednej grupie homogenicznej, natomiast drugą grupę stanowiły próbki zawierające w składzie wodę. Produkty te jednocześnie charakteryzowały się najniższą aktywnością przeciwutleniającą na średnim poziomie 23,27 μ M troloxu/100 g s.s. podobnie jak próbki bazowe (Psyllium), których oznaczona aktywność przeciwutleniająca była o 0,21 p.p niższa (23,06 μ M troloxu/100 g s.s.). Ponadto batony o podstawowym składzie charakteryzowały się zawartością polifenoli ogółem na poziomie 334,60 mg GAE/100 g s.s.. W przypadku aktywności przeciwutleniającej zamiana wody na sok NFC w recepturze batonów spowodowała zwiększenie wartości tego wskaźnika o ponad 50%.

Zawartość związków polifenolowych i aktywność przeciwutleniająca analizowanych batonów wynika m. in z potencjału bioaktywnego składników użytych do ich otrzymania, m. in. pestek dyni i nasion słonecznika, siemienia lnianego i płatków owsianych [Achremowicz i wsp. 2017, Walkowiak i wsp. 2022]. Ponadto, zastosowanie soków NFC, zwłaszcza z czarnej porzeczki, a także z dzikiej róży, składników bogatych w związki fenolowe, dodatkowo

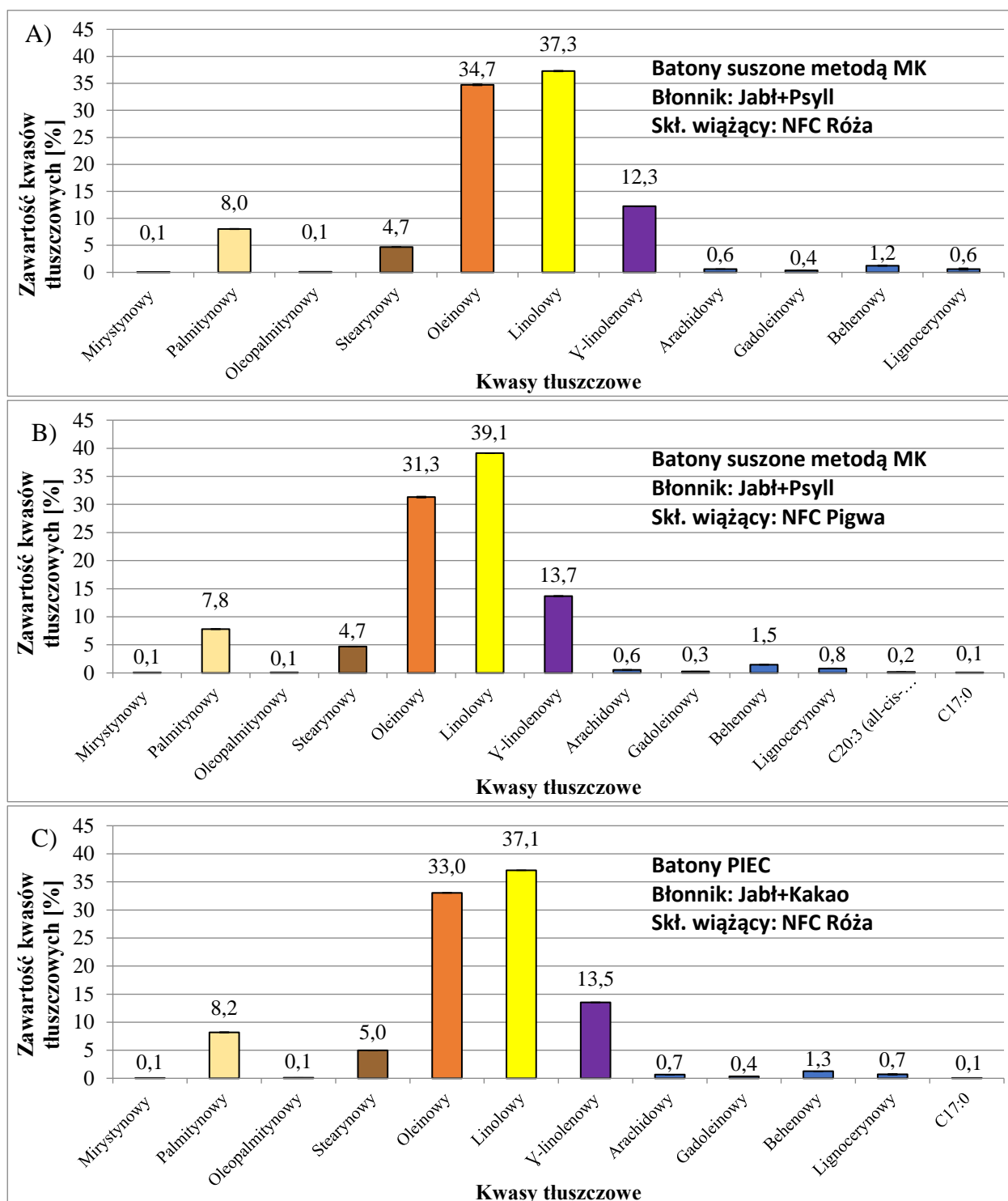
zwiększa potencjał prozdrowotny wytworzonych przekąsek wielozbożowych [Czajkowska i Kowalska 2017].

4.8.5. Wpływ rodzaju składnika wiążącego na profil tłuszczowy wieloziarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną

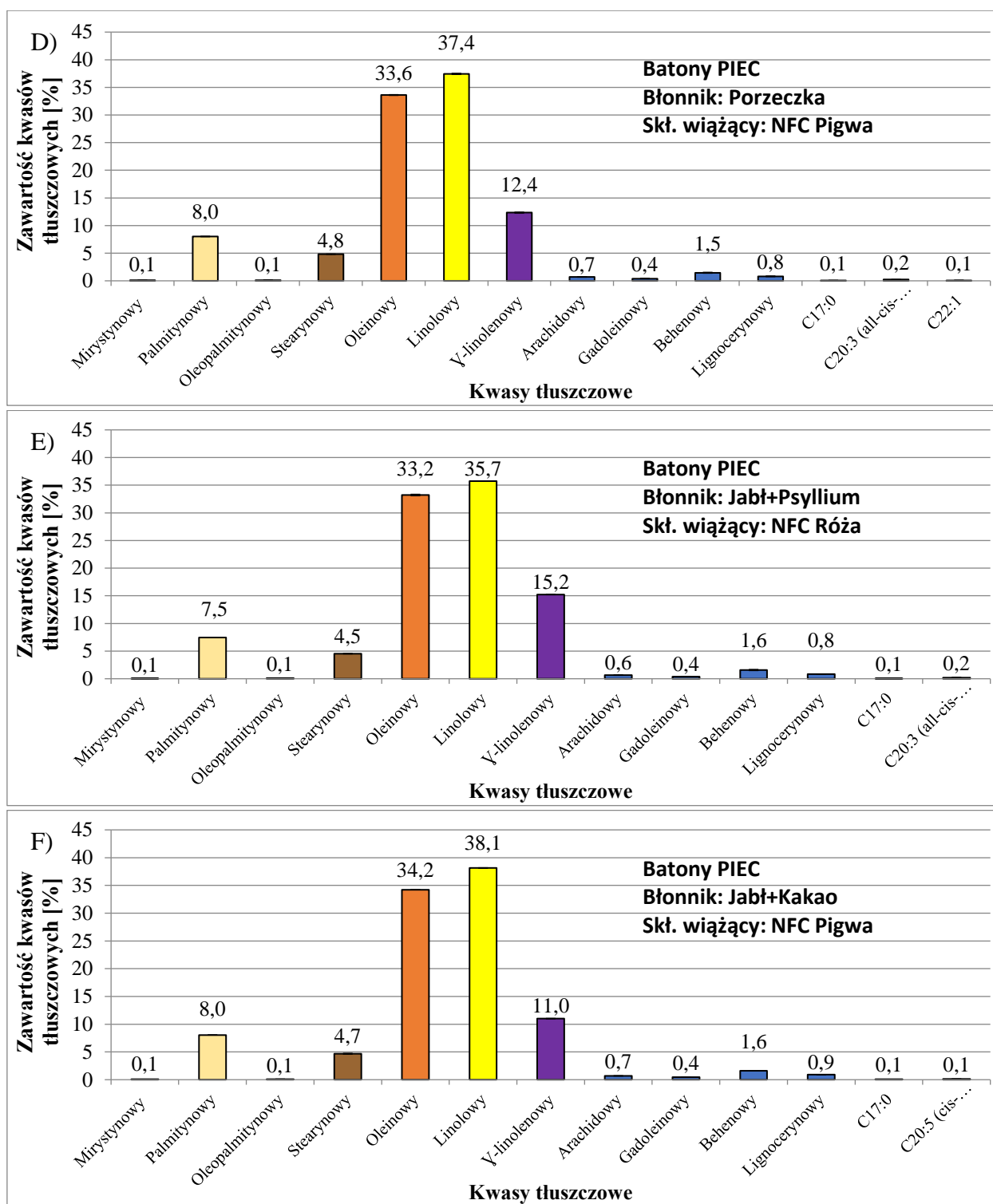
Aktualne rekomendacje i opinie naukowe sugerują jak najniższy udział nasyconych kwasów tłuszczowych oraz izomerów trans w codziennej diecie. Zgodnie z planem „REPLACE Trans Fat” [WHO 2018, Mojska i wsp. 2020], WHO zalecało do roku 2023 całkowite wyeliminowanie tłuszczów częściowo utwardzonych (źródło izomerów trans kwasów tłuszczowych) ze światowych zasobów żywności i zastąpienie ich olejami roślinnymi, z wyjątkiem olejów tropikalnych (palmowego i kokosowego). Również w wytycznych europejskich i amerykańskich towarzystw kardiologicznych, dotyczących profilaktyki chorób sercowo-naczyniowych zaleca się zastępowanie żywności bogatej w kwasy tłuszczowe nasycone (tłuszcze zwierzęce oraz oleje tropikalne, m.in. oleje palmowy i kokosowy) przez żywność zawierającą kwasy tłuszczowe jednonienasycone i wielonienasycone. Nie jest jednak rekomendowane obniżenie udziału energii z tłuszczu ogółem poniżej zalecanych wartości [Mojska i wsp. 2020]. Receptura batonów wieloziarnistych jest oparta o naturalne składniki oleiste, obecne m.in. w pestkach dyni, nasion słonecznika i siemienia lnianego. Gotowe przekąski zawierały znaczące ilości nienasyconych kwasów tłuszczowych (Rys. 26-27). Całkowita zawartość tłuszczu w batonach wynosiła średnio 26,6%. Niezależnie od użytego soku NFC, metody wytwarzania batonów i zastosowanego błonnika w batonach wieloziarnistych, spośród kwasów tłuszczowych największy udział procentowy miały kolejno: kwas linolowy, oleinowy, γ -linolenowy, palmitynowy, stearynowy (Rys. 26). Pozostałe kwasy występowały w niewielkich ilościach. Analiza wariancji wykazała istotny wpływ substancji wiążącej, metody wytwarzania batonów i rodzaju błonnika zastosowanego w recepturze na zawartość poszczególnych kwasów tłuszczowych, poza dwoma przypadkami, tj. brak wpływu składnika wiążącego na zawartość kwasu palmitynowego oraz brak wpływu rodzaju błonnika na zawartość kwasu stearynowego.

Najwyższą zawartością kwasu linolowego charakteryzowały się batony z mieszanką błonników Psyllium i jabłkowego z sokiem z pigwy, otrzymane metodą mikrofalowo-konwekcyjną (około 39,1%), a najniższą batony z mieszanką błonników Psyllium i jabłkowego z sokiem z dzikiej róży, otrzymanych metodą wypieku w piecu (około 35,7%). W następnej kolejności występowania był kwas palmitynowy. Jego zawartość wynosiła w zakresie 7,46-8,18%, odpowiednio w batonach z mieszanką błonnika Psyllium i jabłkowego oraz składnikiem

wiążącym w postaci soku z dzikiej róży (pieczonych) a najwyższą wartością w batonach z mieszaniną błonnika jabłkowego i kakao z sokiem z dzikiej róży jako składnikiem wiążącym (pieczonych).

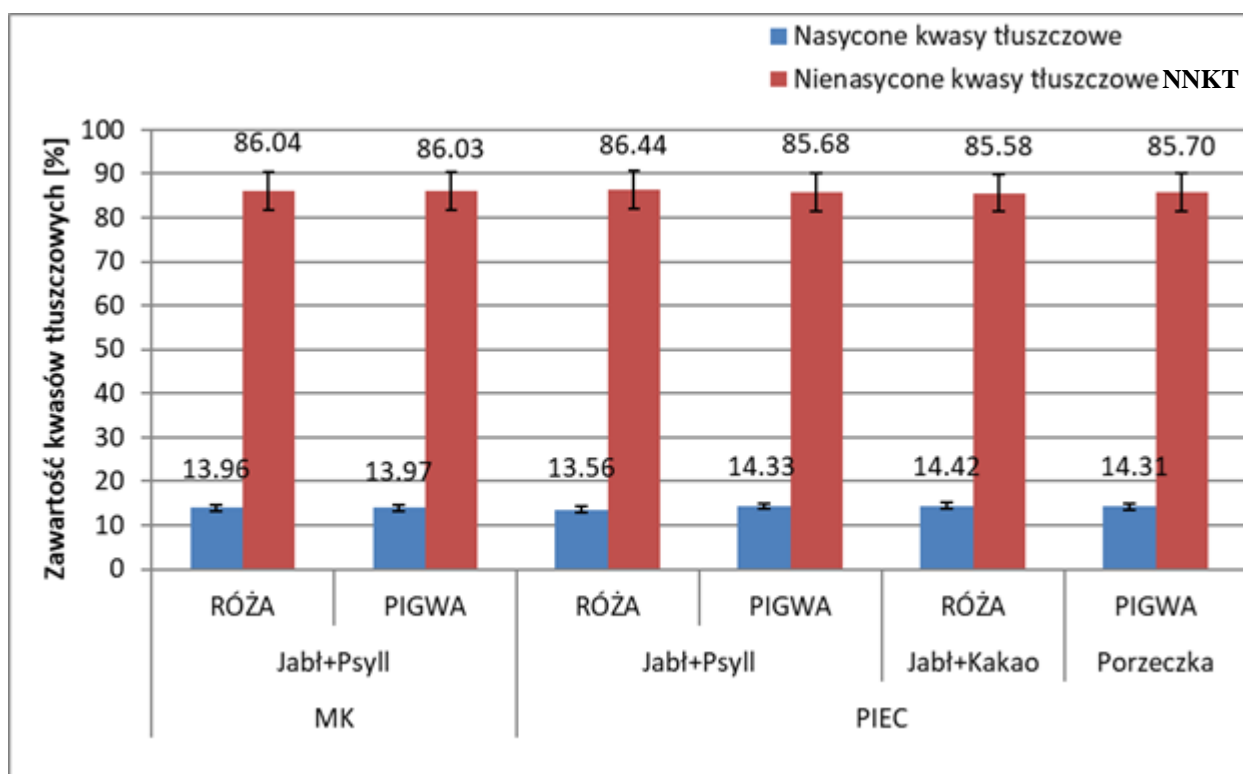


Rysunek 26.1. Wpływ składnika wiążącego, metody wytwarzania batonów (PIEC - pieczenie, MK- suszenie mikrofalowo-konwekcyjne) i rodzaju błonnika na zawartość kwasów tłuszczowych w batonach wieloziarnistych; oznaczenia kodów jak w Tab. 2



Rysunek 26.2. Wpływ składnika wiążącego, metody wytwarzania batonów (PIEC - pieczenie, MK-suszenie mikrofalowo-konwekcyjne) i rodzaju błonnika na zawartość kwasów tłuszczowych w batonach wieloziarnistych; oznaczenia kodów jak w Tab. 2

Zestawienie kwasów tłuszczowych w podziale na niezbędne nienasycone NNKT i nasycone kwasy tłuszczowe w batonach, zależnie od rodzaju błonnika i składnika wiążącego oraz metody wytwarzania (obróbki termicznej) przedstawiono na Rys. 27. Należy podkreślić, że NNKT stanowiły przeważającą większość, w zakresie 85,7-86,4%.



Błonnik	Składnik wiążący (sok NFC)	Metoda	Profil kwasów tłuszczowych batonów wielozłaznistych [%]					
			Kw. Palmitynowy (nasycony)	Kw. Stearynowy (nasycony)	Kw. Oleinowy (NNKT)	Kw. Linolowy (NNKT)	Kw. γ -Linolenowy (NNKT)	Kw. Behenowy (nasycony)
Jabł+Psyll	Róża	PIEC	7.455 ^A ±0,021	4.525 ^A ±0,035	33.225 ^A ±0,134	35.735 ^A ±0,035	15.22 ^A ±0,028	1.580 ^A ±0,099
		MK	8.030 ^B ±0,071	4.685 ^B ±0,021	34.730 ^B ±0,127	37.280 ^B ±0,099	12.255 ^B ±0,007	1.245 ^B ±0,092
Jabł+Kakao	Pigwa	PIEC	8.035 ^a ±0,007	4.675 ^a ±0,078	34.210 ^a ±0,000	38.145 ^a ±0,035	11.010 ^a ±0,028	1.615 ^a ±0,007
	Róża		8.180 ^a ±0,085	4.985 ^b ±0,021	33.035 ^b ±0,035	37.055 ^b ±0,007	13.525 ^b ±0,035	1.255 ^b ±0,007
Jabł+Kakao	Pigwa	PIEC	8.035 ^b ±0,007	4.675 ^a ±0,078	34.210 ^c ±0,000	38.145 ^b ±0,035	11.010 ^a ±0,028	1.615 ^a ±0,007
Jabł+Psyll			7.805 ^a ±0,064	4.705 ^a ±0,035	31.315 ^a ±0,012	39.140 ^c ±0,014	13.680 ^c ±0,071	1.460 ^a ±0,057
Porzeczka			8.020 ^b ±0,042	4.825 ^a ±0,007	33.620 ^b ±0,071	37.435 ^a ±0,092	12.350 ^b ±0,085	1.460 ^a ±0,085

Rysunek 27. Udział niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) i nasyconych kwasów tłuszczowych w batonach wielozłaznistych; oznaczenia kodów jak w Tab. 2; oznaczenia grup homogenicznych: a, b – wpływ składnika wiążącego, a, b – wpływ dodatku błonnika, A,B – wpływ metody wytwarzania; przy $p \leq 0,05$; (Tab. 32-34/Aneks)

Główną grupę kwasów tłuszczowych (około 85%) w badanych próbkach stanowiły kwasy: linolowy, oleinowy, γ -linolenowy, czyli kwasy omega posiadające liczne stwierdzone pozytywne funkcje w organizmie ludzkim. Kwasem o największej zawartości w badanych batonach był kwas linolowy, należący do egzogennych kwasów tłuszczowych omega-6,

stosowany w profilaktyce i leczeniu chorób, m.in. nowotworów, chorób układu krążenia, cukrzycy i osteoporozy [Singh i wsp. 2011]. Dla porównania, Derewiaka i Górska [2012] scharakteryzowały profil tłuszczowy wybranych batonów zbożowych dostępnych na rynku. Wykazały, iż badane batony zbożowe zawierały wysoką zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych, co z punktu widzenia żywieniowego nie jest zalecane ze względu na zwiększone ryzyko zachorowania na miażdżycę i inne choroby. Natomiast uśredniona zawartość NNKT w batonach wieloziarnistych stanowiła około 85,9%, a nasyconych około 14,1% (Rys. 27).

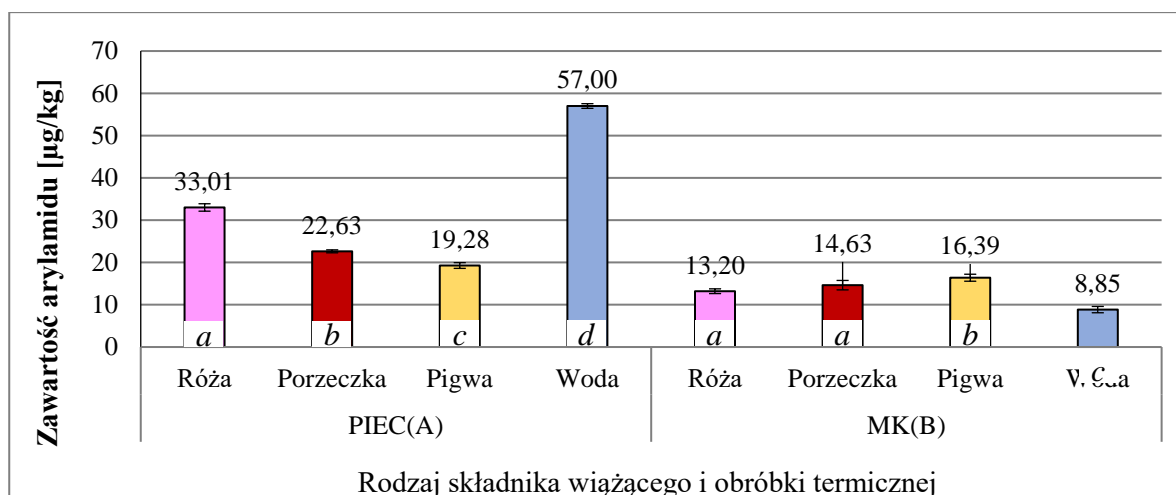
Pomimo występowania istotnych różnic w zawartościach kwasów tłuszczowych, niezależnie od rodzaju błonnika i składnika wiążącego, profil tłuszczowy badanych batonów był podobny. Obserwowane różnice mogły być wynikiem udziału składników stanowiących źródło kwasów tłuszczowych, tj. przede wszystkim pestek dyni i nasion słonecznika oraz siemienia lnianego w próbkach pobranych do wykonania oznaczenia. Składniki ziarniste (całe ziarniste płatki owsiane, pestki dyni i nasiona słonecznika, siemię lniane) rozdrabniano przez 20 sekund, tak aby były widoczne części nasion i ziaren. Mały stopień rozdrobnienia i tym samym zróżnicowany udział poszczególnych składników w kilkugramowych próbkach mógł być zasadniczym powodem zróżnicowania wyników profilu tłuszczowego. Należy podkreślić korzystny wpływ składu recepturowego batonów w uzupełnianiu diety konsumentów w NNKT poprzez spożywanie badanych batonów. Z żywieniowego punktu widzenia jest to bardzo korzystne, ponieważ kwasy te mogą przeciwdziałać rozwojowi chorób układu krążenia.

W ostatnich latach na rynku obserwuje się nieustający wzrost zapotrzebowania na niskokaloryczne przekąski o wysokiej zawartości bioskładników natywnych [Raport 2 2021]. Badane batony zawierały znaczącą zawartość węglowodanów i tłuszczu, więc nie można ich zaliczyć do niskokalorycznych. Jednak na podstawie danych literaturowych i uzyskanych wyników badań można sądzić, że proponowane przekąski batonowe mogą zainteresować osoby dbające o zdrowie, sportowców, a nawet osoby stosujące różnego rodzaju diety. Jest to spowodowane faktem, że produkty te są dobrym źródłem substancji odżywczych, takich jak węglowodany, tłuszcz, w tym z dużym udziałem niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT), białko, błonnik, witaminy i składniki mineralne, a także związki polifenolowe o działaniu prozdrowotnym (Tab. 9). Szczególne znaczenie ma zwiększona zawartość błonnika pokarmowego. Błonnik, oprócz korzyści zdrowotnych dla człowieka, pełni też funkcje technologiczne. Zależnie od rodzaju błonnika wpływa na teksturę żywności i trwałość, m.in. poprzez zdolność do zatrzymywania wody, nawilżania, zagęszczenia, nadawania lepkości [Nawirska i Kwaśniewska 2004]. Skład przekąsek, korzystny pod kątem

związków bioaktywnych, może być również zmodyfikowany, by batony mogły być skierowane dla określonych grup osób, np. zmagających się z alergiami i nietolerancjami pokarmowymi (nietolerancja glutenu, laktozy itp.) lub innymi specyficznymi schorzeniami [Wianecki 2007].

4.8.6. Wpływ rodzaju składnika wiążącego na zawartość akrylamidu w wieloziarnistych batonach pieczonych

Zawartość akrylamidu została wyznaczona w batonach z mieszanką błonnika jabłkowego i kakao, uzyskanych metodą wypieku w piecu oraz w wyniku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (Rys. 28, Tab. 35/Aneks).



Rysunek 28. Wpływ składnika wiążącego (sok NFC/woda) i obróbki termicznej (PIEC - pieczenie, MK - suszenie mikrofalowo-konwekcyjne) na zawartość akrylamidu w batonach wieloziarnistych; *a, b, c.* - oznaczenia grup homogenicznych odnośnie wpływu składnika wiążącego oraz A,B - wpływu obróbki termicznej, przy $p \leq 0,05$

Ponadto, uwzględniono różne składniki spajające, tj. wodę i soki NFC z pigwy, dzięki róży oraz czarnej porzeczki. Stwierdzono ich istotny wpływ na zawartość akrylamidu w batonach pieczonych oraz suszonych. W przypadku batonów wypieczonych, analiza wariancji doprowadziła do wyznaczenia 4 oddzielnych grup homogenicznych. W przypadku suszenia, nie stwierdzono istotnej różnicy w zawartości akrylamidu w batonach z sokiem z róży i z sokiem z czarnej porzeczki. Pozostałe próbki znalazły się w odrębnych grupach homogenicznych. Uzyskane wyniki zawartości akrylamidu były wielokrotnie niższe od dopuszczalnego poziomu, ustalonego w Rozporządzeniu UE nr 2158/2017 [Rozporządzenie 2017/2158]. Według tego Rozporządzenia dopuszczalny poziom zawartości akrylamidu w produkcie spożywczym wynosi 300 µg/kg. Najwyższą zawartość akrylamidu odnotowano w pieczonych batonach z dodatkiem wody jako składnika wiążącego (średnio 57,0 µg/kg),

natomiast najniższy w próbkach z wodą otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (średnio 8,9 µg/kg).

Metoda otrzymywania batonów istotnie wpłynęła na zawartość akrylamidu. Wyznaczono dwie grupy homogeniczne. Wyższymi wartościami charakteryzowały się próbki otrzymane przy pomocy wypieku w piecu (około 33,5 µg/kg), natomiast w batonach wytwarzanych poprzez suszenie mikrofalowo-konwekcyjne zawartość akrylamidu była istotnie niższa (około 13,6 µg/kg). Tareke i wsp. [2009] wykazali, że wysokie ilości akrylamidu powstają w temperaturze 100-120°C i wyższych [Rifai i Saleh 2020]. Natomiast Becalski i wsp. [2011] podali, że pomimo zastosowania temperatury poniżej 100°C, powstawały znaczne ilości akrylamidu, co związane było z wydłużonym czasem suszenia. Projektowane batony metodą wypieku w piecu miały większą zawartość akrylamidu ze względu na warunki wypieku, tj. zastosowanie wysokiej temperatury 180°C. Metoda mikrofalowo-konwekcyjna okazała się metodą, w przypadku której oznaczono mniejsze zawartości tego związku, głównie przez stosowanie znacznie niższej temperatury (40-80°C) oraz krótkiego czasu trwania procesu. Kontynuacja suszenia metodą mikrofalowo-konwekcyjną z zastosowaniem dostępnego stanowiska nie pozwoliła być niemożliwa, gdy temperatura materiału osiągnęła 80°C.

Wolne aminokwasy oraz cukry redukujące obecne w produktach żywnościowych w podwyższonej temperaturze są głównymi prekursorami tzw. reakcji Maillarda. Reakcje te generują wiele sensorycznie aktywnych substancji lotnych i nielotnych, które odgrywają kluczową rolę w rozwoju aromatu, barwy i smaku, a co za tym idzie poprawy smakowitości żywności (Gökmen i Senyuva 2006). Jednakże niektóre produkty reakcji Maillarda mają potencjalną aktywność mutagenną lub rakotwórczą, w tym akrylamid. Jako jedna z substancji toksycznych, które mogą być obecne w żywności, powstaje w wyniku reakcji Maillarda i została sklasyfikowana jako potencjalny czynnik rakotwórczy dla ludzi (IARC 1994) oraz jako genotoksyczny i neurotoksyczny dla zwierząt (Exon 2006). W wielu badaniach wskazano, że głównym prekursorem tworzenia akrylamidu w żywności jest wolna asparagina (Stadler i wsp. 2002). Asparagina sama w sobie może być przekształcona w akrylamid w warunkach termicznych poprzez reakcje dekarboksylacji i deaminacji (Yaylayan i wsp. 2003), ale wydajność produkcji akrylamidu z asparaginy jest znacznie wyższa w obecności grup karbonylowych (Mottram i wsp. 2002). Wykazano, iż w reakcji tej cukry o krótszych łańcuchach są bardziej reaktywne. Wpływ sacharozy, nieredukującego disacharydu, na tworzenie akrylamidu w żywności zależy od stopnia jej hydrolizy do fruktozy i glukozy podczas procesu ogrzewania (Gökmen i wsp. 2007). W przeciwieństwie do asparaginy, inne

aminokwasy, w tym alanina, arginina, kwas asparaginowy, cysteina, glutamina, metionina, treonina i walina, są prekursorami tworzenia akrylamidu w małym stopniu (Friedman 2003).

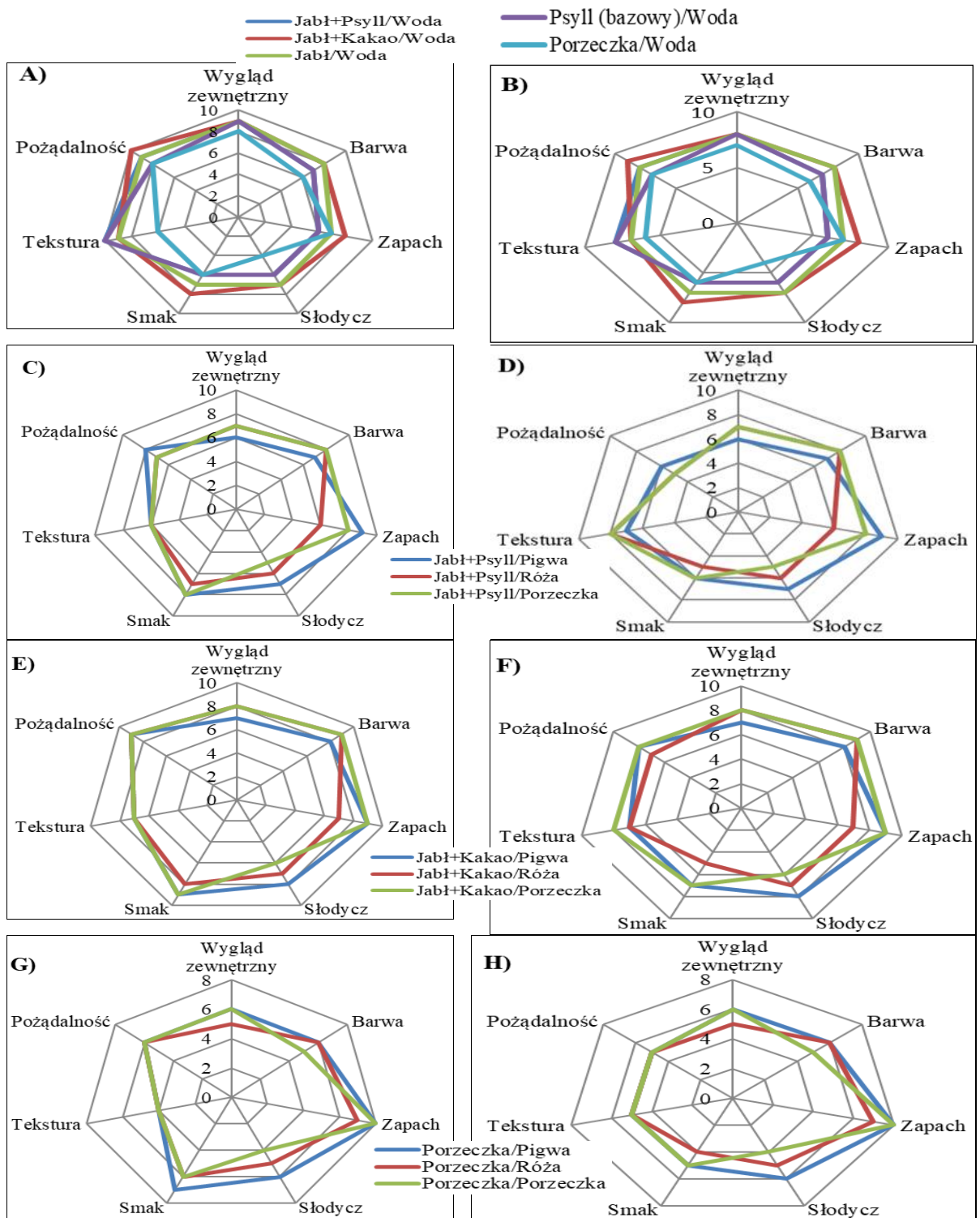
Żywność na bazie zbóż jest jednym z głównych źródeł produktów reakcji Maillarda w diecie. Žilić i wsp. (2017), w celu określenia potencjału różnych zbóż do tworzenia akrylamidu podczas obróbki cieplnej, przeanalizowali zawartość cukrów oraz wolnej asparaginy dziesięciu odmian należących do ośmiu gatunków uprawianych w tej samej lokalizacji w sezonie wegetacyjnym w 2015 r. Wyniki dostarczyły dowodów na różnice zawartości cukrów i asparaginy między gatunkami zbóż drobnoziarnistych i kukurydzy oraz w obrębie gatunków. Otrzymane wyniki wskazują, iż największą zawartością glukozy, fruktozy i asparaginy, czyli głównych prekursorów tworzenia akrylamidu, charakteryzują się odmiany żyta oraz owsa. Dlatego pełnoziarniste płatki owsiane, będące jednym z podstawowych składników badanych batonów, można traktować jako główne źródło związków będących prekursorami w tworzeniu akrylamidu podczas obróbki cieplnej.

Analizując uzyskane wyniki, dotyczące zawartości akrylamidu w badanych batonach wieloziarnistych, należy podkreślić niskie zawartości akrylamidu, wielokrotnie niższe od dopuszczalnego poziomu. W porównaniu z pieczeniem, korzystniejszą okazała się metoda suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego, co wynikało z zastosowania znacznie niższej temperatury procesu.

4.8.7. Ocena właściwości sensorycznych wieloziarnistych batonów pieczonych oraz suszonych metoda mikrofalowo-konwekcyjną

Ocenie sensorycznej poddano serię batonów wieloziarnistych z dodatkiem błonników (Rys. 29A, B) oraz soków NFC (Rys. 29C-H), pieczonych (Rys. 29A, C, E, G) oraz suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną (Rys. 29B, D, F, H).

W pierwszej grupie przygotowanych próbek oceniano batony z trzema rodzajami dodatku preparatów błonnikowych, tj. dwóch mieszanek Jabł+Psyll i Jabł+Kakao oraz błonnika z czarnej porzeczki (Rys. 29A, B). Natomiast kolejne batony były z dodatkiem tych samych błonników, a ponadto z dodatkiem soków z NFC z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki. Badania obejmowały ocenę ogólną wyglądu, ogólną pożądalność, teksturę, zapach, barwę, smak i odczuwalną słodkość batonów. Dodatek błonnika wpłynął korzystnie na ogólny wygląd i teksturę batonów wieloziarnistych. Struktura batonów była dość zbita i jednolita, batony nie kruszyły się, a jednocześnie były stosunkowo miękkie.



Rysunek 29. Ocena sensoryczna wieloziarnistych batonów z błonnikami (2 mieszanki błonników: Jabł+Psyll i Jabł+Kakao, a ponadto błonnik Psyllium, jabłkowy i z czarnej porzeczk) (A,B) oraz z dodatkiem soków NFC (z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczk - w zastępstwie wody) (C,D,E,F,G,H), otrzymanych metodą wypieku w piecu (A,C,E,G) oraz suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie (B,D,F,H)

Uwzględniając wartości średnie sześciu badanych wskaźników sensorycznych, zarówno batony otrzymane metodą wypieku w piecu, jak i poprzez suszenie mikrofalowo-konwekcyjne były ocenione pozytywnie (Rys. 29). W skali 10-punktowej wyżej zostały oceniono próbki pieczone, w zakresie od 6,1 w przypadku batonów z błonnikiem z czarnej porzeczki i sokami NFC z róży i porzeczki, do 8,7 w przypadku batonów z mieszanką błonników Jabł+Kakao. Takie same próbki, tylko otrzymane metodą suszenia oceniono w zakresie od 5,6 do 8,1. Oceny te zostały zaniżone głównie poprzez niskie oceny smaku i wyróżnika zdefiniowanego jako „słodycz”, przyznając po 4-5 punktów, a w niektórych przypadkach również pod względem barwy (5-6 punktów). Najwyżej ocenianym wyróżnikiem była tekstura, a także ogólna pożądalność, za które w batonach pieczonych przyznano po 8-10 punktów. Natomiast w przypadku batonów suszonych wysoko oceniono wygląd zewnętrzny, teksturę i ogólną pożądalność, które najczęściej oceniono na około 8 punktów, szczególnie, gdy użyto błonnika Psyllium lub jego mieszanki z błonnikiem jabłkowym. Bardziej pożądane batony pieczone charakteryzowały się twardszą skórką i miękkim miękiszem, a otrzymane metodą suszenia były twardsze od tych otrzymanych w piecu.

Porównując batony zawierające różne błonniki konsumenci najlepiej ocenili próbki zawierające mieszankę błonników jabłkowego z kakaowym, które nadały charakterystyczny, atrakcyjny wygląd, smak, zapach i barwę, kojarzone z czekoladą. Jeszcze wyżej oceniono wygląd zewnętrzny, barwę i ogólną pożądalność, gdy do batonów z tą mieszanką błonników dodano soki NFC. Natomiast pod względem tekstury i ogólnej pożądalności najwyżej oceniono batony z błonnikiem Psyllium lub mieszanką Jabł+Psyll.

Oceniając batony zawierające różne soki NFC w składzie, niezależnie od rodzaju błonnika, najgorzej oceniono batony zawierające sok z dzikiej róży, ponieważ nie wnosił on charakterystycznego smaku, zapachu czy barwy. Batony zawierające sok z pigwy zostały ocenione wysoko ze względu na słodycz, ciekawy zapach oraz posmak. W przypadku soku z czarnej porzeczki, z uwagi na jego wysoką kwasowość, batony mające go w składzie zostały ocenione najniżej. Otrzymały one jednak wysoką punktację ze względu na wyjątkowy aromat, charakterystyczny smak i ciekawą barwę, które wpływały na zwiększoną ogólną pożądalność.

4.9. Wpływ modyfikacji receptury IIB poprzez użycie wytlóków i soku jabłkowego na właściwości wieloziarnistych batonów pieczonych (ETAP III)

Jedną z prób urozmaicenia batonów wieloziarnistych było wykorzystanie bezpośrednio wyciśniętego soku z jabłek i pozostałych z tego procesu świeżych wytlóków jabłkowych w ilości 2, 6 oraz 12%. Świeże wytloki jabłkowe zastosowano jako alternatywa do preparatu

błonnika jabłkowego, a sok otrzymany z tłoczenia zamiast wody. W tym celu stosowano świeże wytloki jabłek odmiany Ligol jako bezpośredni odpad z wyciskania soku. Batony przygotowane według tej receptury (modyfikacja IIB) poddano analizie właściwości fizycznych (aktywność wody, parametry barwy), a także składu chemicznego, w tym zawartość składników odżywczych, błonnika pokarmowego, a także składników o charakterze prozdrowotnym, tj. związków polifenolowych i aktywności antyoksydacyjnej (Rys. 42/Aneks).

4.9.1. Wpływ świeżego soku i wycisków z jabłek (w zastępstwie dodatku wody i preparatu błonnikowego) na zawartość i aktywność wody, barwę oraz wartość odżywczą wieloziarnistych batonów pieczonych

Konsumenci w coraz większym stopniu interesują się prawidłowym odżywianiem. Dlatego pożądane jest spożywanie w odpowiednich ilościach składników odżywczych, takich jak węglowodany, białka, tłuszcze, witaminy, związki mineralne, a także błonnik pokarmowy, aby poszczególne komórki organizmu mogły poprawnie funkcjonować. W ostatnich latach kładziony jest nacisk, by spożywać więcej owoców i warzyw ze względu na zawartość zarówno składników odżywczych jak i tych o właściwościach prozdrowotnych. Dlatego jedną z modyfikacji receptury batonów było dodanie bezpośrednio wyciśniętego soku z jabłek (w zastępstwie dodatku wody) oraz pozostałych z tego procesu świeżych wycisków jabłkowych w ilości 2, 6 oraz 12%. Batony te poddano ocenie zmian zawartości i aktywności wody oraz barwy (Tab. 10), wartości odżywczej i prozdrowotnej na podstawie zawartości białka, tłuszczu, węglowodanów, błonnika ogółem i jego frakcji oraz popiołu (Tab. 11), a także zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej (Tab. 12).

4.9.2. Wpływ świeżego soku i wycisków z jabłek na zawartość i aktywność wody oraz barwy batonów wieloziarnistych pieczonych

Badając wpływ dodania świeżego soku i wycisków z jabłek do receptury batonów, wyniki zestawiono z batonami bazowymi, tj. batonami z wodą jako składnikiem wiążącym i błonnikiem Psyllium (0 - Psyll /Bazowy). W porównaniu z próbkami bazowymi dodatek świeżych wycisków i soku z jabłek spowodował zwiększenie zawartości wody. Wyznaczono 2 grupy homogeniczne, batony z 2, 6 i 12% zawartością wycisków znalazły się w jednej grupie homogenicznej, natomiast istotnie różniły się one od próbki bazowej. Zwiększenie dodatku wycisków powodowało stopniowe zwiększanie zawartości wody i w mniejszym stopniu aktywności wody w próbkach (Tab. 10).

Świeży sok i wyciski z jabłek wpłynęły na istotne zwiększenie aktywności wody batonów (0,844-0,876), w porównaniu do batonów bazowych (0,839; Tab. 10), jak również w

porównaniu do batonów bez błonnika, z błonnikiem jabłkowym, a także kakaowym (0,820-0,830) (Rys. 6). Nie stwierdzono jednak istotnej różnicy aktywności wody batonów bazowych oraz batonów z 2% dodatkiem wyłoków. Jednak w batonach z 6 i 12% udziałem wyłoków aktywność wody różniła się statystycznie istotnie od batonu bazowego, a także między sobą.

Tabela 10. Wybrane wskaźniki jakościowe pieczonych batonów ze świeżymi wyłokami i świeżym sokiem z jabłek; oznaczenia kodów jak w Tab. 2 (Tab. 36/Aneks)

Udział wyłoków[%]	Zawartość wody [%]	Aktywność wody	L	a*	b*	C	h°
0 - Psyll (Bazowy)	19,45 ^a ±0,36	0,839 ^a ±0,004	49,22±0,94	4,25 ^b ±0,13	12,64 ^b ±0,28	13,34 ^b ±0,64	68,84±2,56
2	22,89 ^b ±0,97	0,844 ^{ab} ±0,005	48,20±1,10	9,11 ^a ±0,40	21,55 ^a ±0,53	23,20 ^a ±1,09	65,23±2,38
6	23,46 ^b ±0,92	0,850 ^b ±0,003	49,11±1,92	7,44 ^c ±0,29	19,42 ^c ±0,73	24,33 ^a ±0,45	65,17±1,47
12	25,87 ^b ±1,37	0,876 ^c ±0,005	50,61±1,11	9,20 ^a ±0,32	22,20 ^a ±0,47	23,10 ^a ±0,55	65,89±1,35

Oznaczenia w kolumnach a,b,c- grupy homogeniczne dotyczące wpływu udziału świeżych wyłoków, przy $p \leq 0,05$

Zastąpienie wody świeżym sokiem i dodatek świeżych wyłoków z jabłek nie spowodowało istotnych zmian parametrów L* oraz h° barwy batonów (Tab. 10). Jakkolwiek odnotowano nieznaczne zwiększenie jasności barwy batonów wraz ze zwiększaniem udziału wyłoków jabłkowych w recepturze, a w przypadku tonu barwy, niezależnie od udziału wyłoków, ton barwy był o około 3° niższy niż w batonach bazowych i porównywalny z tonem barwy batonów z mieszanką błonników Jabł+Psyll (Rys. 10B). Dodatek wyłoków jabłkowych w recepturze batonów miał istotny wpływ na pozostałe parametry barwy. Analiza statystyczna wartości parametrów a* i b* doprowadziła do podziału na 3 grupy. Batony z zawartością 2 oraz 12% wyłoków znalazły się w jednej grupie homogenicznej, a pozostałe próbki różniły się od siebie istotnie statystycznie. Jednocześnie zauważono, iż po dodaniu wyłoków jabłkowych udział barwy czerwonej a* i żółtej b* był nawet dwukrotnie większy w porównaniu z barwą batonów bazowych, a także batonów z innymi błonnikami (Rys. 10A). Podobnie, świeży sok i wyłoki z jabłek powodowały znaczące zwiększenie nasycenia barwy C batonów (Tab. 10).

4.9.3. Wpływ świeżego soku i wyłoków z jabłek na wartość odżywczą wieloziarnistych batonów pieczonych

W batonach ze świeżym sokiem i dodatkiem świeżych wyłoków z jabłek oznaczono skład makro- i mikrośladników, porównując ich skład do batonu bazowego (Psyll) (Tab. 11). Białko jest podstawowym makroskładnikiem diety człowieka, składa się z łańcuchów prostszych związków, tj. aminokwasów połączonych wiązaniami peptydowymi. Właściwości i funkcje białek są zależne od ich struktury [Charzewska i wsp. 2020]. Jednocześnie białka są podstawowymi strukturalnymi i funkcjonalnymi składnikami każdej komórki ciała człowieka.

Znaczenie białka jako składnika odżywczego polega na dostarczaniu azotu białkowego i określonych rodzajów aminokwasów. Naturalnym źródłem białek i aminokwasów są surowce lub produkty spożywcze. Procesy technologiczne, np. procesy zachodzące podczas wypieku, jak reakcja Maillarda lub nieenzymatyczne brązowienie, mogą wpływać na zawartość poszczególnych aminokwasów i wzajemne proporcje między nimi. Reakcje te redukują między innymi ilość dostępnego aminokwasu lizyny [Charzewska i wsp. 2020]. Ważnym mikroskładnikiem jest tłuszcz. Według Mojskiej i wsp. [2020] pojęcie „tłuszcze pokarmowe” obejmuje wszystkie lipidy obecne w tkankach roślin i zwierząt, które są spożywane jako żywność. Podstawową cząsteczką tłuszczu są triacyloglicerole (triglicerydy), estry zbudowane z jednej cząsteczki glicerolu i trzech reszt kwasów tłuszczowych. Tłuszcz jest mieszaniną różnych triacylogliceroli, jednak każdy rodzaj tłuszczu charakteryzuje się obecnością właściwych dla swojego rodzaju triacyloglicerydów. Tłuszcz jest źródłem kwasów tłuszczowych, w tym pożądanym niezbędnym nienasyconym kwasów tłuszczowych (NNKT) z rodziny omega-6 (n-6) i omega-3 (n-3), które muszą być dostarczane z pokarmem. Kwasy tłuszczowe stanowią do 95% tłuszczu i decydują o jego cechach fizykochemicznych oraz roli fizjologicznej [Mojska i wsp. 2020]. Również węglowodany stanowią dużą grupę związków organicznych. Ze względu na budowę chemiczną, dzieli się je na proste i złożone, a ze strony żywieniowej na przyswajalne i nieprzyswajalne. Bardziej pożądane w diecie są węglowodany złożone, di-, oligo- lub polisacharydy. Polisacharydy (polimery wielkocząsteczkowe) zbudowane są z jednostek monosacharydowych, połączonych wiązaniami glikozydowymi w łańcuch prosty bądź rozgałęziony. Węglowodany przyswajalne są podstawowym źródłem energii i są niezbędne do utleniania kwasów tłuszczowych. Przy ich niedostatecznej podaży, kwasy tłuszczowe nie ulegają całkowitemu spalaniu, dlatego powstają ciała ketonowe, które zakwaszają organizm. Węglowodany po przekształceniu w triwęglowe prekursorów są wykorzystywane do syntezy aminokwasów glukogennych, m.in. alaniny, kwasu glutaminowego, kwasu asparaginowego, proliny [Przygoda i wsp. 2020]. Zarówno długotrwały niedobór, jak i nadmiar węglowodanów w diecie jest niekorzystny dla zdrowia. Zalecany udział węglowodanów w diecie powinien uwzględnić ilość energii, jaką należy zapewnić, po uwzględnieniu energii dostarczonej przez spożyte białko (10–20% całodziennej energii) i tłuszcz (20–35% całodziennej energii).

Udział świeżego soku i wyłoków z jabłek w recepturze batonów spowodował w różnym stopniu obniżenie zawartości składników odżywczych, ale zwiększenie zawartości błonnika pokarmowego ogółem i jego frakcji nierozpuszczalnej w wodzie (Tab. 11). Nie wykazano istotnego wpływu świeżego soku i wyłoków z jabłek na zawartość węglowodanów i białka.

Natomiast, w porównaniu do batonów bazowych (z błonnikiem Psyllium), obniżenie zawartości tłuszczu i składników mineralnych (popiołu) w batonach wieloziarnistych było statystycznie istotne (Tab. 11). Baton bazowy odznaczał się stosunkowo wysoką zawartością węglowodanów (około 31,2%), natomiast w batonach z sokiem oraz dodatkiem wyłoków wartości były na poziomie 30,3%. Baton odznaczał się też wysoką zawartością tłuszczów, w zakresie 21,9-26,6% (Tab. 11). Wykazano istotny wpływ świeżego soku i wyłoków z jabłek na obniżenie zawartości tłuszczów, w porównaniu do ich zawartości w batonach bazowych. Nie stwierdzono istotnej różnicy zawartości tłuszczu w próbkach z dodatkiem 2 i 6% wyłoków. Jednakże udział tłuszczów był niższy wraz ze zwiększaniem tego dodatku. Udział wyłoków w ilości 12% spowodował obniżenie zawartości tłuszczu o prawie 5 punktów procentowych.

Tabela 11. Zestawienie składu chemicznego batonów ze świeżym sokiem i świeżymi wyłokami jabłkowymi; oznaczenia kodów jak w Tab. 2. Oznaczenia w kolumnach a,b,c- grupy homogeniczne dotyczące wpływu udziału świeżych wyłoków, przy $p \leq 0,05$; brak oznaczenia grup, gdy $p > 0,05$ (Tab. 37/Aneks)

Udział wyłoków[%]	Zawartość węglowodanów [%]	Zawartość tłuszczu[%]	Zawartość białka[%]	Błonnik ogółem[%]	Błonnik frakcja nierozpuszczalna [%]	Błonnik frakcja rozpuszczalna[%]	Zawartość popiołu[%]
0 - Psyll (Bazowy)	31,22±0,98	26,62 ^c ±0,67	16,57±0,47	9,36 ^b ±0,18	7,66 ^b ±0,12	1,70 ^b ±0,04	3,05 ^c ±0,11
2	30,45±0,86	24,77 ^a ±0,61	16,15±0,64	9,96 ^a ±0,21	6,68 ^a ±0,14	3,28 ^a ±0,06	2,86 ^a ±0,12
6	30,36±1,23	23,59 ^a ±0,55	16,22±0,40	9,99 ^a ±0,22	6,34 ^a ±0,26	3,67 ^a ±0,04	2,79 ^a ±0,12
12	30,09±1,33	21,92 ^b ±0,47	15,18±0,34	10,47 ^a ±0,32	6,37 ^a ±0,23	4,08 ^a ±0,04	2,60 ^b ±0,12

Zmniejszenie zawartości tłuszczu było spodziewane, ponieważ jabłka zawierają niewielkie ilości tłuszczu, głównie w skórce owoców i większe w nasionach. Natomiast udział soku i wyłoków wpłynął na zwiększenie wilgotności batonów, a także zawartości błonnika. Podobne zależności zaobserwowano odnośnie zawartości białka w batonach. Niezależnie od ilości dodanych wyłoków w recepturze batonów wykazano istotny wpływ świeżego soku i wyłoków z jabłek na zwiększenie zawartości błonnika pokarmowego ogółem w batonach o 0,6-11,9% w porównaniu do jego zawartości w batonach bazowych (Tab. 11). Baton z 12% dodatkiem wyłoków jabłkowych charakteryzowały się zawartością błonnika na poziomie 10,5%, podczas gdy w batonach bazowych było to średnio 9,4%. W podobny sposób dodatek wyłoków wpłynął na zawartość rozpuszczalnej frakcji błonnika. Jednakże zaobserwowano istotne obniżenie zawartości frakcji nierozpuszczalnej w wodzie. Błonnik jabłkowy nie zawiera glutenu ani kwasu fitynowego, natomiast odznacza się stosunkowo wysoką zawartością rozpuszczalnego błonnika pokarmowego o właściwościach zagęszczających [Bilgiçli i wsp. 2007]. Dlatego połączenie soku i wyłoków jabłkowych może przyczynić się zarówno do

poprawy właściwości batonów, jak i korzystnego zwiększenia zawartości zwłaszcza błonnika rozpuszczalnego w produkcie przekąskowym.

W przypadku zawartości popiołu (związków mineralnych) zaobserwowano istotne zmniejszenie jego zawartości wraz ze zwiększaniem udziału wytlóków, z 3,05 (batony bazowe) do 2,60% w batonach z 12% udziałem wytlóków. W tym przypadku wyodrębniono trzy grupy homogeniczne, w jednej znalazły się batony z dodatkiem 2 i 6% wytlóków. Pełnoziarniste płatki owsiane, a także pestki dyni, nasiona słonecznika i siemię lniane są dobrym źródłem związków mineralnych [Pal 2011, Achremowicz i wsp. 2017, Amin 2019, Walkowiak i wsp. 2022]. Cenne dla zdrowia są sole magnezu, wapnia, fosforu i żelaza, a także cynku. Natomiast ważną informacją dla osób z niewydolnością układu krążenia jest niska zawartość sodu w płatkach owsianych [Gibiński i wsp. 2005]. Podobnie w składzie siemienia lnianego ważną rolę odgrywają takie składniki mineralne, jak magnez, wapń, cynk, żelazo, potas, miedź, ale także witaminy (B1, B6, PP, E) i kwasy foliowy i pantotenowy [Achremowicz i wsp. 2017].

Wysoka zawartość błonnika pokarmowego w batonach jest jedną z najważniejszych zalet tych produktów. Oprócz korzyści technologicznych, polegających na spajaniu ciasta batonowego i tworzeniu struktury batonów, błonnik jest ważnym składnikiem codziennej diety. Jednak zarówno jego niedobór, jak i nadmiar w organizmie nie są korzystne [Wojtasik i wsp. 2020]. Zbyt małe spożycie błonnika pokarmowego prowadzi do zaparc, przyczynia się do zwiększenia ryzyka występowania chorób, jak miażdżyca, kamica żółciowa, uchyłkowatość i nowotwory jelita grubego, a nawet rak sutka u kobiet. Zbyt duże ilości błonnika zmniejszają wchłanianie tłuszczów, w konsekwencji też witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E i K). Może też wpływać na obniżenie przyswajalności składników mineralnych. Do tej pory nie ma informacji naukowych odnośnie wartości górnego zakresu tolerowanego poziomu spożycia błonnika pokarmowego. Frakcję nierozpuszczalną tworzą celuloza, większość hemiceluloz i ligniny, natomiast do frakcji rozpuszczalnej zalicza się beta-glukany, pektyny, fruktooligosacharydy, skrobię oporną, gumy roślinne (np. guma guar), śluz roślinne (np. Psyllium), niektóre hemicelulozy [Wojtasik i wsp. 2020]. Nierozpuszczalny błonnik wpływa na pracę przewodu pokarmowego poprzez zwiększenie perystaltyki jelit, co przyspiesza pasaż treści pokarmowej. Fizjologiczne oddziaływanie frakcji rozpuszczalnych błonnika polega na spowalnianiu procesów trawiennych poprzez zwiększenie czasu przebywania pokarmu w żołądku, dając uczucie sytości. Błonnik rozpuszczany ulega fermentacji w jelicie grubym [Eswara i wsp. 2013]. Wskutek fermentacji powstają krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (octowy, propionowy, masłowy), które wpływają na obniżenie pH w świetle jelita grubego i

korzystne uwarunkowanie do rozwoju pałeczek kwasu mlekowego i zachowania odpowiedniej proporcji pomiędzy bakteriami probiotycznymi a gnilnymi.

Tabela 12. Zestawienie zawartości związków polifenolowych oraz aktywności przeciwutleniającej batonów ze świeżym sokiem i świeżymi wyłokami jabłkowymi; oznaczenia kodów jak w Tab. 2. Oznaczenia w kolumnach a,b,c - grupy homogeniczne dotyczące wpływu udziału świeżych wyłoków, przy $p \leq 0,05$; brak oznaczenia grup, gdy $p > 0,05$ (Tab. 36/Aneks)

Zawartość wyłoków [%]	Polifenole ogółem [mg kw. GAE/100 g s.s.]	Aktywność przeciwutleniająca [uM Troloxu/100 g s.s.]
0 - Psyll (Bazowy)	334,60 ^c ±11,10	23,06 ^c ±1,10
2	286,68 ^b ±7,17	90,76 ^b ±19,15
6	264,47 ^{ab} ±12,14	87,52 ^{ab} ±21,04
12	249,52 ^a ±8,81	86,16 ^a ±16,20

Zawartość składników odżywczych (Tab. 11) i o charakterze prozdrowotnym (Tab. 12) w badanej partii potencjalnych batonów przekąskowych była bardzo korzystna. Należy podkreślić, że w recepturze batonów znalazły się składniki takie jak pełnoziarniste płatki owsiane, pestki dyni, nasiona słonecznika, siemię lniane, zawierające korzystne dla zdrowia naturalne komponenty. Batonów bazowe odznaczały się wysoką zawartością polifenoli ogółem, na poziomie 334,6 mg kw. GAE/100 g s.s. (Tab. 12). Dodatek wyłoków jabłkowych wpłynął na ich znaczące obniżenie, sięgające 24,5%. Natomiast aktywność przeciwutleniająca, będąca na poziomie 23,06 uM Troloxu/100 g s.s. w batonach bazowych, uległa blisko 4-krotnemu zwiększeniu po dodaniu wyłoków jabłkowych. Mogło to wynikać z tworzenia się różnych związków w wysokiej temperaturze pieczenia batonów, a także większej wilgotności batonów. Mogły zachodzić reakcje utleniania, denaturacji i hydrolizy, w tym reakcje Maillarda i karmelizacji. Produkty tych reakcji kształtują właściwości strukturalne, sorpcyjne i sensoryczne, zapewniając ogólną atrakcyjność produktu [Ajandouz i wsp. 2008], a także mogą zwiększać aktywność przeciwutleniającą, jak i biodostępność [Langston i wsp. 2021].

4.10. Wpływ modyfikacji receptury IIC poprzez dodatek białka grochowego na właściwości i kaloryczność pieczonych i suszonych batonów wieloziarnistych (ETAP III)

W modyfikacji II receptury batonów podjęto próbę dodania białka grochowego celem oceny jego wpływu na zmiany wybranych właściwości fizykochemicznych i kaloryczności batonów. Dodatek białka grochowego zastosowano w ilości 8%, przy jednoczesnym obniżeniu zawartości płatków owsianych, pestek dyni, nasion słonecznika i siemienia lnianego, nie

zmieniając tym samym proporcje między składnikami ziarnistymi batonów bazowych (Rys. 43/Aneks).

4.10.1. Wpływ dodatku białka grochowego na zawartość i aktywność wody, pH oraz parametry tekstury wieloziarnistych batonów pieczonych

Modyfikacja receptury w postaci dodatku białka grochowego nie wpłynęła istotnie na zawartość wody oraz odczyn pH w badanych próbkach batonów (Tab. 13). Stwierdzono istotny wpływ dodatku białka na obniżenie aktywności wody batonów, w porównaniu z bazowymi. Jednak wartości te były porównywalnie do większości opisanych wyżej batonów pieczonych (Rys. 6), ale wyższe w odniesieniu do aktywności wody suszonych batonów z dodatkiem soków NFC (Rys. 16).

Tabela 13. Wpływ dodatku białka grochowego na wybrane właściwości wieloziarnistych batonów pieczonych. Oznaczenia w wierszach a,b - grupy homogeniczne dotyczące wpływu dodatku białka grochowego, przy $p \leq 0,05$

Wskaźniki/ Batony	Psyll (bazowy)	Batony z białkiem
Zawartość wody [%]	21,71 ^a ±0,59	21,02 ^a ±0,57
Aktywność wody	0,876 ^a ±0,004	0,840 ^b ±0,040
pH	6,34 ^a ±0,26	6,32 ^a ±0,28
Twardość [N]	42,71 ^a ±1,98	85,70 ^b ±3,91
Praca ściskania [mJ]	205,86 ^a ±11,05	463,90 ^b ±21,56
Sprężystość	0,32 ^a ±0,02	0,35 ^a ±0,02
Kohezyjność	0,21 ^a ±0,01	0,19 ^a ±0,01
Gumiastość [N]	15,75 ^a ±0,86	16,48 ^a ±0,88
Żujność [N]	4,84 ^a ±0,25	5,83 ^a ±0,24

Dodatek białka grochowego wpłynął istotnie na twardość i pracę ściskania próbek. Próbki z białkiem odznaczały się około 2-krotnie większą twardością i jeszcze większą pracą ściskania w porównaniu do próbek bez zwiększenia udziału białka. Jednakże nie wykazano istotnego wpływu dodatku białka grochowego na takie parametry TPA, jak sprężystość, kohezyjność, gumiastość i żujność, stąd nie zostały wyodrębnione grupy homogeniczne (Tab. 13).

4.10.2. Wpływ dodatku białka grochowego na parametry barwy wieloziarnistych batonów pieczonych

Dodatek białka grochowego wpłynął statystycznie istotnie na parametry barwy batonów, takie jak parametr barwy a* oraz parametr barwy b* (Tab. 14). Wartość parametru a* batonów

bazowych wynosiła około 4,49, natomiast dodatek białka spowodował zwiększenie jego wartości o około 11%, czyli batony zwiększył się udział barwy czerwonej. Podobnie, w przypadku parametru b* batonów z białkiem grochowym, zwiększył się w nich udział barwy żółtej o około 9%, w porównaniu do batonów bazowych bez białka.

Tabela 14. Wskaźniki barwy batonów bazowych i batonów z białkiem grochowym otrzymanych metodą wypieku; oznaczenia kodów jak w Tab. 2. Oznaczenia w wierszach a,b - grupy homogeniczne dotyczące wpływu dodatku białka grochowego, przy $p \leq 0,05$

Wskaźniki barwy/ Batony	Psyll (bazowy)	Batony z białkiem
L*	48,38 ^a ± 1,45	48,80 ^a ± 1,61
a*	4,49 ^a ± 0,18	5,00 ^b ± 0,24
b*	12,84 ^a ± 0,46	14,05 ^b ± 0,23
C	13,47 ^a ± 0,33	13,99 ^a ± 0,57
h°	69,00 ^a ± 2,00	65,50 ^a ± 2,29

W przypadku pozostałych parametrów, jak jasność barwy L*, nasycenie C oraz ton (odcień) barwy h°, dodatek białka grochowego nie miał istotnego wpływu na wartości tych wskaźników. Jasność barwy L* obu próbek batonów bazowych i z białkiem była dość zbliżona i wynosiła odpowiednio 48,4 i 48,8. Podobnie było w przypadku nasycenia barwy C. Natomiast udział białka grochowego spowodował nieznaczne obniżenie wartości parametru h° odcienia barwy.

4.10.3. Wpływ dodatku białka grochowego na kaloryczność i ocenę sensoryczną pieczonych i suszonych batonów wieloziarnistych

Według EFSA [2013] całkowity dobowy wydatek energetyczny (*Total Energy Expenditure* TEE) jest sumą podstawowej przemiany materii (*Basal Energy Expenditure* BEE), energii wydatkowanej na aktywność fizyczną (*Energy Expenditure of Physical Activity*, EEPA), termicznego efektu pożywienia (*Thermic Effect of Food* TEF) oraz w rzadziej występujących sytuacjach, termogenezy indukowanej zimnem. Jednocześnie zapotrzebowanie na energię jest bardzo zróżnicowane, zależy od wielu czynników, jak np. masa i skład ciała, płeć, wiek, ciąża, aktywność fizyczna, czynniki etniczne i środowiskowe [Rychlik i wsp. 2020]. Organizm człowieka powinien czerpać energię ze zbilansowanej diety, dostarczającej węglowodany (głównie złożone), tłuszcze i białka w odpowiedniej ilości i w odpowiednich proporcjach oraz zapewniającej pokrycie zapotrzebowania na wszystkie składniki odżywcze zgodnie z zalecanymi normami. Węglowodany (1 g = 16,7 kJ lub 4 kcal) i tłuszcze (1 g = 37,7 kJ lub 9 kcal) są głównymi źródłami energii, która uwalniana jest w procesie utleniania

makroskładników znajdujących się w pożywieniu. Energii dostarczają również białka, 1 g dostarcza 16,7 kJ (4 kcal), zwłaszcza gdy niewystarczająca jest dostępność energii z węglowodanów i tłuszczów [Rychlik i wsp. 2020]. Źródłem energii jest również błonnik pokarmowy. Elia i Cummings [2007], przy założeniu, że 70% błonnika docierającego do jelita grubego ulega fermentacji, przyjęli, że 1 g błonnika dostarcza 8,4 kJ (2 kcal).

Większość przekąsek odznacza się wysoką kalorycznością (Tab. 15). Ten wskaźnik często jest jednym z problemów, na jakie napotyka się przy projektowaniu produktów żywnościowych. Również receptura batonów wieloziarnistych wskazywała na wysoką kaloryczność (Tab. 16).

Tabela 15. Wartość energetyczna wybranych batonów dostępnych na rynku, informacje o kaloryczności uzyskano z danych dostępnych na opakowaniach produktów

Batony	Wartość energetyczna [kcal / 100 g produktu]
Anny Lewandowskiej	385,72
Baton Simba	431,22
Hi5!beeSnap	391,00
Miodowy kłós	430,00
Baton Warszawski	387,00

Jednocześnie na rynku poszukiwane są produkty o zwiększonej zawartości białka. Dlatego podjęto próbę modyfikacji składu batonów poprzez zastosowanie 6% dodatku białka grochowego do ich receptury, przy jednoczesnym zmniejszeniu zawartości płatków owsianych, nasion słonecznika i pestek dyni oraz siemienia lnianego.

Tabela 16. Wartość energetyczna batonów bazowych i z wybranymi preparatami błonnikowymi, z sokami NFC oraz z sokami NFC i białkiem grochowym [kcal/100 g]

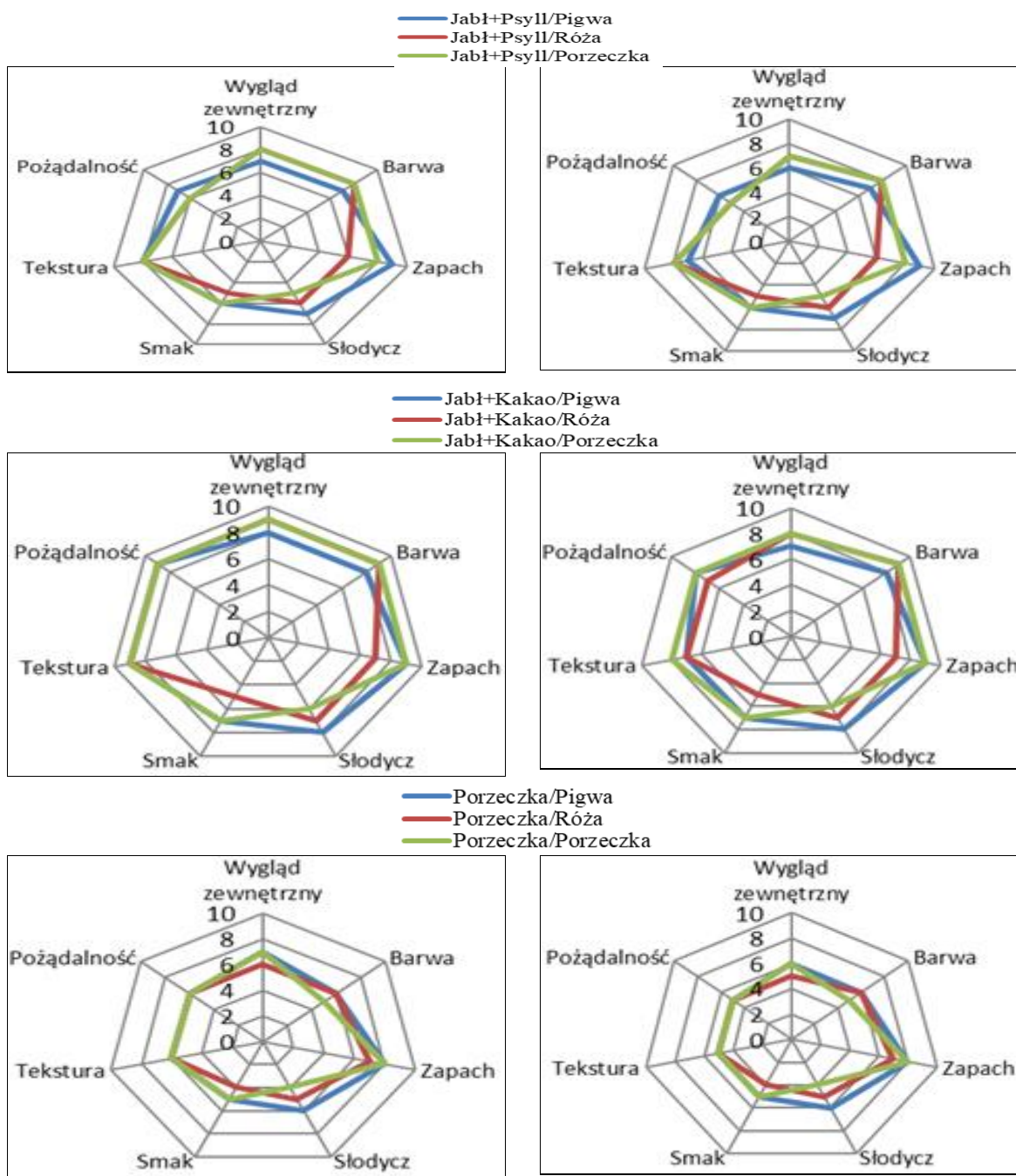
Rodzaj batonów /rodzaj składnika wiążącego	Rodzaj błonnika		
	Jabl+Psyll	Jabl+Kakao	Porzeczka
Woda	289±13	295±12	290±15
Z sokami NFC: dzika róża, pigwa, czarna porzeczka	302±11	309±12	304±16
Z sokami NFC (jw.) i białkiem grochowym	287±12	294±11	289±14

Zbadano kaloryczność batonów z dodatkiem dwóch mieszanek błonników, tj. jabłkowego i Psyllium oraz jabłkowego i kakao oraz batonów z błonnikiem z czarnej porzeczki (Tab. 16). Baton z sokami NFC jako składnikiem wiążącym wykazywały wyższą kaloryczność od tych z wodą. W rezultacie udało się bardzo nieznacznie obniżyć kaloryczność projektowanych batonów. Najwyższą kalorycznością charakteryzowały się batony z dodatkiem soków NFC i mieszanką błonnika jabłkowego i kakao zarówno przed próbą obniżenia

kaloryczności, jak i po dodaniu białka grochowego. Z jednej strony wynik tej próby był pozytywny, ponieważ osiągnięto chociaż częściowe obniżenie kaloryczności przekąsek batonowych i zwiększenie zawartości białka. Z drugiej strony dodatek ten miał negatywny wpływ na smak przekąsek (Rys. 30). Charakterystyczny smak mączny i lekko gorzki spowodował, że produkt w testach sensorycznych otrzymał oceny niższe od uzyskanych w przypadku batonów bez dodatku białka.

Porównując kaloryczność opracowanych batonów (Tab. 16), w odniesieniu do podobnych, dostępnych obecnie na rynku przekąsek batonowych (Tab. 15), batony z białkiem grochowymi i bez niego nie spowodowały przekroczenie przeciętnej kaloryczności charakterystycznej dla tego typu produktów. Przykładowe 3 pierwsze batony zestawione w Tab. 15 charakteryzowały się zawartością daktyli w swoim składzie, dlatego różniły się pod względem wartości energetycznej od projektowanych batonów. Batony firmy „Miodowy kłós” były najbardziej zbliżone pod względem wyglądu do tych projektowanych, ponieważ zawierały w swoim składzie widoczne płatki owsiane i jako jedyne nie zawierały w składzie masy z daktyli. Żaden z analizowanych batonów na rynku nie był podobny pod względem składu do batonów badanych w tej pracy. Batony dostępne na rynku zawierały najczęściej: wiórki kokosowe, nasiona sezamu, ryż preparowany, mleko w proszku, orzechy arachidowe lub nerkowca. Niektóre zawierały suszoną żurawinę, rodzyнки i naturalne aromaty.

Batony z dodatkiem białka grochowego oraz z trzema wariantami błonników (2 mieszanki: jabłko i kakao oraz jabłko i Psyllium, a także błonnik a czarnej porzeczki) z dodatkiem soków z NFC (z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki) poddano ocenie sensorycznej (Rys. 30). Oceniano zarówno batony otrzymane metodą wypieku w piecu (Rys. 30A, C, E) jak i metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (Rys. 30B, D, F). Batony otrzymane metodą wypieku w piecu były wyżej ocenione od batonów otrzymanych metodą suszenia pod względem tekstury oraz ogólnej pożądalności. W pozostałych przypadkach oceny były zbliżone. Batony otrzymane metodą suszenia były twardsze od tych otrzymanych w piecu, dlatego były też mniej atrakcyjne i niżej ocenione. Najlepiej oceniono batony z dodatkiem mieszanki błonników jabłkowego i kakao, otrzymanych metodą wypieku w piecu. Nieco niżej zostały ocenione batony z dodatkiem mieszanki błonników jabłkowego i Psyllium oraz z błonnikiem z czarnej porzeczki.



Rysunek 30. Ocena sensoryczna batonów z dodatkiem białka grochowego: A, C, E) otrzymanych metodą wypieku w piecu oraz B, D, F) suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie

W ocenie sensorycznej batony z mieszankami błonników Jabł+Psyll i Jabł+Kakao oraz z dodatkiem białka grochowego, niezależnie od metody otrzymywania i większości dodanych soków NFC, były ocenione najniżej (Rys. 30). Wyczuwalny był gorzki posmak białka grochowego, który zmniejszał poziom odczuwalności charakterystycznych aromatów nadawanych przez inne składniki batonów. Niektóre oceny były niższe ze względu na nieprzyjemne odczucie posmaku mącznego. Sok z dzikiej róży prawdopodobnie zwiększał niekorzystny smak batonów. Natomiast zastosowanie preparatu błonnikowego z czarnej

porzeczki częściowo niwelowało niekorzystne odczucie smaku. Ze względu na ten niekorzystny efekt sensoryczny modyfikacji receptury z białkiem grochowym, zdecydowano, że te cechy przeważały nad możliwością nieznacznego obniżenia kaloryczności.

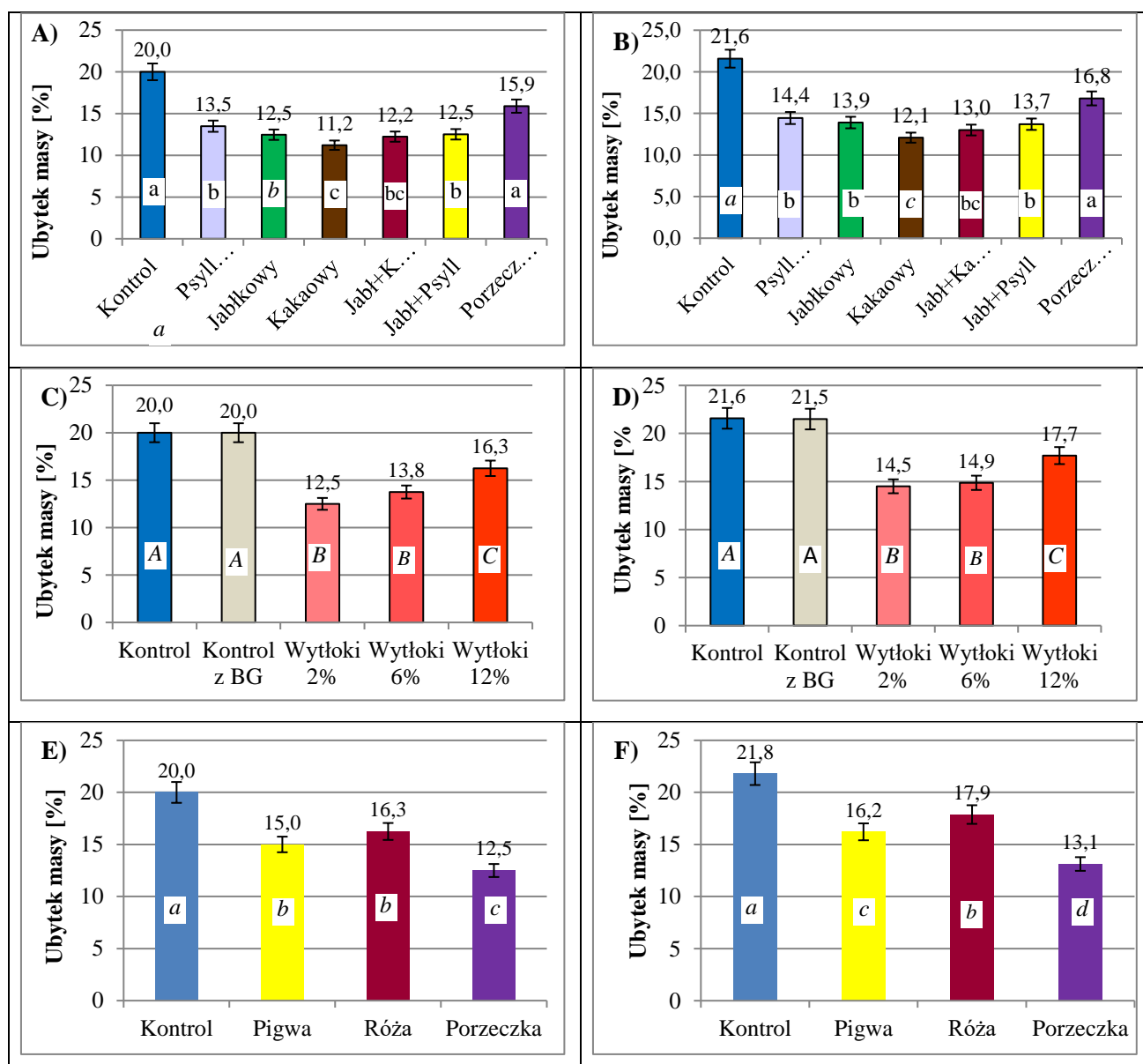
4.10.4. Wpływ modyfikacji receptury (typ błonnika, soki NFC, białko grochowe, wytloki jabłkowe) na wydajność masową wieloziarnistych batonów pieczonych i suszonych

Na Rys. 31 przedstawiono analizę wydajności technologicznej wytwarzania batonów, wyrażonej za pomocą ubytków masy batonów wieloziarnistych w wyniku ich obróbki termicznej, tj. pieczenia i suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego. Stwierdzono istotne różnice w wielkości tego parametru między próbkami pieczonymi a suszonymi. Średnio zastosowanie suszenia konwekcyjno-mikrofalowego powodowało o 8,5% większy ubytek masy batonów w porównaniu do wypieku w piecu.

Analiza statystyczna nie wykazała istotnego wpływu dodatku białka grochowego na ubytek masy batonów. W przypadku dodatku różnych rodzajów błonnika stwierdzono natomiast istotne zmniejszenie ubytku masowego średnio o 7 punktów procentowych w porównaniu z batonami kontrolnymi (ubytek wynoszący 20%). Wśród próbek zawierających błonnik najniższą wartość określono dla batonów z błonnikiem kakaowym (11,2%), a najwyższą dla batonów z błonnikiem porzeczkowym (15,9%) i zostały one zaliczone do oddzielnych grup homogenicznych. Baton z błonnikiem Psyllium, jabłkowym, mieszanką jabłkowego i Psyllium oraz mieszanką jabłkowego i kakaowego zaliczono do wspólnej grupy homogenicznej. Nie stwierdzono istotnej różnicy między próbkami z błonnikiem kakaowym a próbkami z mieszanką błonników jabłkowego i kakaowego. Bardzo zbliżony, jak w przypadku pieczenia, wpływ rodzaju błonnika na ubytek masowy stwierdzono w przypadku próbek suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie. Najniższa wartość tego wskaźnika dotyczyła batonów z błonnikiem kakaowym, wynosiła około 12,1%, a najwyższa dla batonów z błonnikiem porzeczkowym, średnio 16,8%.

Dodatek wytlóków jabłkowych wpłynął istotnie na ubytek masy podczas obróbki termicznej. Zarówno w przypadku wypieku w piecu, jak i suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego nastąpiło istotne statystycznie zmniejszenie ubytku masy (średnio o 5,8 punktów procentowych). W obu przypadkach między dodatkiem wytlóków w ilości 2 i 6% nie stwierdzono istotnych różnic. Jednakże dodatek 12% wytlóków spowodował istotne statystycznie zwiększenie ubytku masy. Najniższy ubytek masy stwierdzono w próbkach zawierających 2% wytlóków jabłkowych

(12,5% - próbki pieczone i 14,5% - suszone), zaś najwyższy w próbkach z 12% dodatkiem wytlóków (16,3 i 17,7%, odpowiednio w próbkach pieczonych i suszonych).



Rysunek 31. Ubytek masy batonów z błonnikami z 2%, z dodatkiem białka grochowego (A, B), dodatkiem 2, 6 i 12% wytlóków jabłkowych (C, D) oraz sokami NFC z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki (E, F), otrzymanych metodą wypieku w piecu (A, C, E) i suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (B, D, F); oznaczenia literowe dotyczą grup homogenicznych: a, b... – wpływ rodzaju składnika wiążącego; A, B... – dodatku wytlóków jabłkowych; a, b... – rodzaju błonnika; oznaczenia przy $p \leq 0,05$ (Tab. 3/Aneks)

Analiza statystyczna nie wykazała istotnego wpływu dodatku białka grochowego na ubytek masy batonów. W przypadku dodatku różnych rodzajów błonnika stwierdzono natomiast istotne zmniejszenie ubytku masowego średnio o 7 punktów procentowych w porównaniu z batonami kontrolnymi (ubytek wynoszący 20%). Wśród próbek zawierających

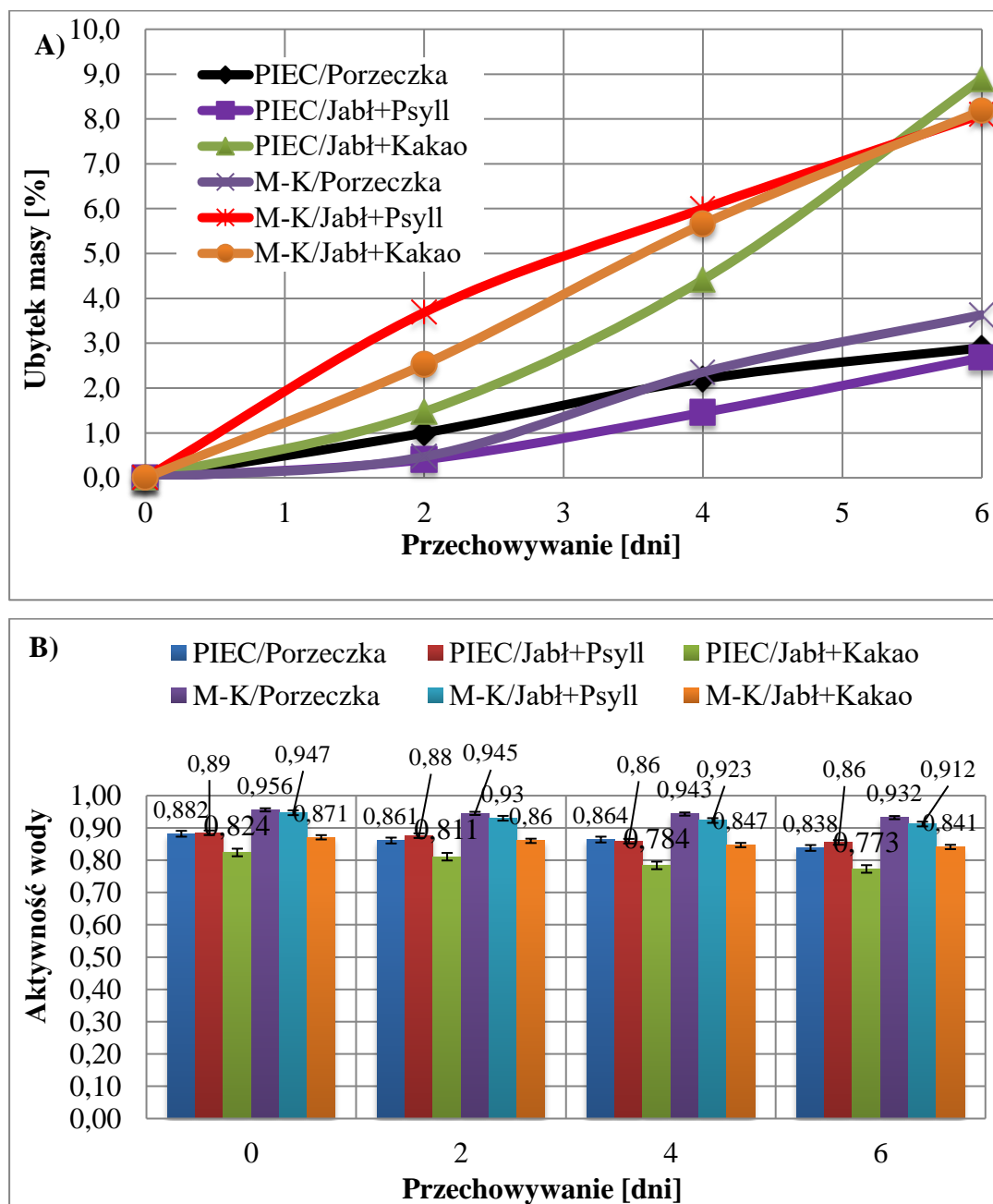
błonnik najniższą wartość określono dla batonów z błonnikiem kakaowym (11,2%), a najwyższą dla batonów z błonnikiem porzeczkowym (15,9%) i zostały one zaliczone do oddzielnych grup homogenicznych. Batony z błonnikiem Psyllium, jabłkowym, mieszanką jabłkowego i Psyllium oraz mieszanką jabłkowego i kakaowego zaliczono do wspólnej grupy homogenicznej. Nie stwierdzono istotnej różnicy między próbkami z błonnikiem kakaowym a próbkami z mieszanką błonników jabłkowego i kakaowego. Bardzo zbliżony, jak w przypadku pieczenia, wpływ rodzaju błonnika na ubytek masowy stwierdzono w przypadku próbek suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie. Najniższa wartość tego wskaźnika dotyczyła batonów z błonnikiem kakaowym, wynosiła około 12,1%, a najwyższa dla batonów z błonnikiem porzeczkowym, średnio 16,8%.

Dodatek wyłoków jabłkowych wpłynął istotnie na ubytek masy podczas obróbki termicznej. Zarówno w przypadku wypieku w piecu, jak i suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego nastąpiło istotne statystycznie zmniejszenie ubytku masy (średnio o 5,8 punktów procentowych). W obu przypadkach między dodatkiem wyłoków w ilości 2 i 6% nie stwierdzono istotnych różnic. Jednakże dodatek 12% wyłoków spowodował istotne statystycznie zwiększenie ubytku masy. Najniższy ubytek masy stwierdzono w próbkach zawierających 2% wyłoków jabłkowych (12,5% - próbki pieczone i 14,5% - suszone), zaś najwyższy w próbkach z 12% dodatkiem wyłoków (16,3 i 17,7%, odpowiednio w próbkach pieczonych i suszonych).

Podobnie w przypadku zastąpienia wody sokami NFC z pigwy, dzikiej róży i czarnej porzeczki w recepturze batonów, zaobserwowano istotne zmniejszenie ubytku masowego (o 5,4 i 6 punktów procentowych w przypadku odpowiednio pieczenia i suszenia). W przypadku wypieku w piecu najniższą wartość określono dla próbek z sokiem z porzeczki (12,5%), a największą – statystycznie istotnie różniącą się - dla próbek z sokiem z dzikiej róży (16,3%), przy czym te ostatnie znalazły się w grupie homogenicznej wraz z próbkami zawierającymi sok z pigwy. W przypadku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego najniższe wartości ubytku masy dotyczyły batonów z sokiem z czarnej porzeczki, wynosiły średnio 13,1%, a najwyższe batonów z sokiem z dzikiej róży, średnio 17,9%. Każda z próbek znalazła się w oddzielnej grupie homogenicznej.

Projektowane batony wieloziarniste zbadano również pod kątem ubytku masy w trakcie ich przechowywania (Rys. 32A). Wytworzone próbki pakowane były pojedynczo w zgrzewaną folię i przechowywano w temperaturze 22 °C przez 6 dni. Największą szybkość ubytku masy w pierwszej fazie (0-2 dzień) zaobserwowano w przypadku batonów z dodatkiem mieszanki błonnika jabłkowego i Psyllium, otrzymanych metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego. W drugiej fazie (2-4 dzień) najwyższą szybkością ubytku masy charakteryzowały się batony z

dotądkiem mieszanki błonników jabłkowego i kakaowego, otrzymane metodą suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego. Natomiast w trzeciej fazie (4-6 dzień) najwyższą szybkość ubytku masy określono dla próbek z mieszanką błonników jabłkowego z Psyllium, otrzymanych metodą wypieku w piecu. Każda z trzech rodzajów wymienionych próbek charakteryzowała się całkowitym ubytkiem masy po 6 dniach przechowywania w zakresie 8-9%. W przypadku pozostałych batonów utrata masy po 6 dniach nie była większa niż 4%.



Rysunek 32. Zmiana masy (A) oraz zmiana aktywności wody (B) podczas przechowywania produktu w temperaturze 22°C

Podczas przechowywania batonów zaobserwowano nieznaczny spadek aktywności wody (Rys. 32B). Po 6 dniach przechowywania średnie zmierzone wartości aktywności wody były niższe o około 4%, czyli w granicach przyjętego poziomu istotności.

4.11. Jakość mikrobiologiczna surowców i batonów wieloziarnistych

4.11.1. Jakość mikrobiologiczna składników receptury batonów wieloziarnistych

Ocenę jakości mikrobiologicznej przeprowadzono w surowcach podstawowych, jak i sokach NFC dodawanych przy modyfikacji receptury (Tab. 18). Najbardziej zanieczyszczonymi mezofilnymi drobnoustrojami tlenowymi surowcami były pestki dyni i siemię lniane. Może być to wynik niedostatecznej dbałości o zachowanie zasad higieny w trakcie przechowywania surowców. W sokach NFC (z dzikiej róży, pigwy i czarnej porzeczki) nie wykryto drobnoustrojów mezofilnych tlenowych w $0,1 \text{ cm}^3$ soku, co świadczy o ich wysokiej jakości mikrobiologicznej.

Bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* są wskaźnikiem zachowania prawidłowych zasad przetwarzania i przechowywania. W żadnej spośród badanych próbek nie wykryto tych bakterii, co świadczy o ich wysokiej jakości mikrobiologicznej.

Niezależnie od rodzaju surowca wykorzystanego do produkcji batonów, liczba bakterii przetrwalnikujących zawierała się w zakresie od $4,1 \cdot 10^1$ jtk/g (płatki owsiane) do $9,7 \cdot 10^2$ jtk/g (słód jęczmienny). W pozostałych surowcach ich obecność może wynikać z zanieczyszczenia pochodzącego ze środowiska, np. gleby oraz z niskiej aktywności wody ziaren zbóż, nasion i orzechów, co powoduje sprzyjające warunki do ich rozwoju [Brar i Danyluk 2018].

W żadnej z próbek surowców wykorzystanych do produkcji batonów wieloziarnistych nie stwierdzono obecności gronkowców. Można ocenić, że osoby biorące udział w pozyskiwaniu surowca i ich obrocie przestrzegały zasad, dotyczących higieny osobistej. Przekłada się to na brak bakterii z rodzaju *Staphylococcus*. Nieobecność gronkowców może świadczyć także o dbałości o czystość powierzchni, w tym urządzeń podczas wytwarzania, dystrybucji i przechowywania badanych surowców.

Liczba drożdży i pleśni zawierała się w zakresie od $2,0 \cdot 10^2$ jtk/g (nasiona słonecznika) do $5,1 \cdot 10^2$ jtk/g (pestki dyni). Zanieczyszczenie surowców zbożowych mikroflorą grzybową może być związane z ich kontaktem z glebą, która stanowi środowisko bytowania wielu drożdży i pleśni. W przypadku pozostałych surowców nie stwierdzono obecności drożdży i pleśni, co może wynikać ze specyficznych metod ich otrzymywania, wiążących się z obróbką termiczną w wysokiej temperaturze, która zabija niektóre grzyby.

Zatem zarówno surowce podstawowe, jak i wykorzystane w modyfikacji receptury batonów wielozłarnistych charakteryzowały się stosunkowo wysoką jakością mikrobiologiczną. W przypadku najbardziej zanieczyszczonych surowców, zwłaszcza pestek dyni i siemienia lnianego oraz słodu jęczmiennego, stwierdzono obecność drobnoustrojów mezofilnych ($5,0 \cdot 10^1$ - $9,8 \cdot 10^3$ jtk/g), bakterii przetrwalnikujących w zakresie $4,1 \cdot 10^1$ - $9,7 \cdot 10^2$ jtk/g oraz drożdży i pleśni ($2,0$ - $5,1 \cdot 10^2$ jtk/g).

Tabela 18. Wyniki oceny jakości mikrobiologicznej surowców użytych do otrzymania batonów wielozłarnistych

Surowiec	Liczba mezofilnych drobnoustrojów tlenowych [jtk/g lub jtk/cm ³]		Liczba bakterii z rodziny Enterobacteriaceae [jtk/g lub jtk/cm ³]		Liczba bakterii przetrwalnikujących [jtk/g lub jtk/cm ³]		Liczba gronkowców [jtk/g lub jtk/cm ³]		Liczba drożdży i pleśni [jtk/g lub jtk/cm ³]	
	Wartość średnia \bar{x}	Odchylenie standardowe \pm SD	Wartość średnia \bar{x}	Odchylenie standardowe \pm SD	Wartość średnia \bar{x}	Odchylenie standardowe \pm SD	Wartość średnia \bar{x}	Odchylenie standardowe \pm SD	Wartość średnia \bar{x}	Odchylenie standardowe \pm SD
Siemię lniane	$9,8 \times 10^3$	$1,41 \times 10^2$	nb w 0,1 g	-	$1,6 \times 10^2$	$2,12 \times 10^1$	nb w 0,1 g	-	$4,2 \times 10^2$	$2,12 \times 10^1$
Nasiona słonecznika	$1,8 \times 10^2$	$1,41 \times 10^1$	nb w 0,1 g	-	$2,6 \times 10^2$	$1,41 \times 10^1$	nb w 0,1 g	-	$2,0 \times 10^2$	0
Płatki owsiane	$5,0 \times 10^1$	0	nb w 0,1 g	-	$4,1 \times 10^1$	$0,71 \times 10^0$	nb w 0,1 g	-	$2,1 \times 10^2$	$7,07 \times 10^0$
Pestki dyni	$5,3 \times 10^3$	$2,12 \times 10^2$	nb w 0,1 g	-	$5,6 \times 10^2$	$1,41 \times 10^1$	nb w 0,1 g	-	$5,1 \times 10^2$	$1,41 \times 10^1$
Słód jęczmienny	$5,5 \times 10^2$	$7,07 \times 10^0$	nb w 0,1 g	-	$9,7 \times 10^2$	$2,12 \times 10^1$	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	-
Sok NFC z róży	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-
Sok NFC z pigwy	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-
Sok NFC z czarnej porzeczki	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-	nb w 0,1 cm ³	-

Natomiast w żadnym surowcu nie stwierdzono obecności bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* i gronkowców. Wysoką jakością mikrobiologiczną odznaczały się handlowe soki NFC (z dzikiej róży, pigwy i czarnej porzeczki).

4.11.2. Jakość mikrobiologiczna wybranych batonów wielozłarnistych po wytworzeniu i przechowywaniu

Wyniki oznaczenia liczby tlenowych drobnoustrojów mezofilnych obecnych w batonach wielozłarnistych zestawiono w Tab. 19. Badano batony bezpośrednio po produkcji (czas „0”) i po przechowywaniu przez 14 dni w warunkach pokojowych (warunki imitujące warunki handlowe). W batonach bezpośrednio po produkcji liczba bakterii zawierała się od $2,3 \cdot 10^2$ jtk/g do $6,1 \cdot 10^2$ jtk/g. Najbardziej zauważalny wzrost tych bakterii odnotowano w ciągu przechowywania przez 7 dni. Po 3 dniach liczba bakterii wynosiła $3,8 \cdot 10^3$ jtk/g, a po 5 i 6 dniach $2,5 \cdot 10^4$ jtk/g. Natomiast w przypadku pozostałych batonów, liczba oznaczanych drobnoustrojów kształtowała się na poziomie od $3,7 \cdot 10^2$ do $1,5 \cdot 10^3$ jtk/g.

Tabela 19. Wyniki oceny jakości mikrobiologicznej batonów wielozłarnistych po wytworzeniu i przechowywaniu

Rodzaj batonów/błonni ka/soku NFC	Mezofilne bakterie tlenowe [jtk/g]						Bakterie przetrwalnikujące [jtk/g]					
	Czas przechowywania [dni]						Czas przechowywania [dni]					
	0	SD	7	SD	14	SD	0	SD	7	SD	14	SD
Psyll/Pigwa	$3,5 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^4$	0,0	$1,1 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$1,1 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$2,4 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$
Psyll/Róża	$2,6 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^2$	$8,8 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$2,1 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$5,2 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^1$
Psyll/Porzeczka	$5,9 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$3,7 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$8,7 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^1$	$7,1 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$
Jabl+Kakao/Pigwa	$6,1 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$1,5 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^1$	$4,8 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$5,4 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$
Jabl+Kakao/Róża	$2,5 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$8,7 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^1$	$1,2 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$3,6 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$5,5 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$
Jabl+Kakao/Porzeczka	$4,4 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$4,6 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$2,4 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^1$	$3,3 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$
Porzeczka/Pigwa	$3,2 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$4,1 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$4,9 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$2,8 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^1$	$7,3 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^1$
Porzeczka/Róża	$4,6 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$3,8 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$3,3 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$3,4 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$
Porzeczka/Porzeczka	$2,3 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$	$2,7 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$8,3 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^0$

Niezależnie od wariantu batonów, liczba drobnoustrojów tlenowych mezofilnych zwiększała się w okresie ich przechowywania przez 14 dni w temperaturze pokojowej (Tab. 19). Po tym czasie największą liczbę mezofilnych drobnoustrojów tlenowych stwierdzono w przypadku batonów z błonnikiem porzeczkowym i sokiem NFC z czarnej porzeczki ($1,4 \cdot 10^5$ jtk/g), batonach z błonnikiem z czarnej porzeczki i sokiem NFC z róży ($1,1 \cdot 10^5$ jtk/g) oraz batonach z błonnikiem Psyllium i sokiem NFC z pigwy ($1,1 \cdot 10^5$ jtk/g). Liczba drobnoustrojów tlenowych mezofilnych oznaczona w pozostałych batonach oscylowała na poziomie $4,5 \cdot 10^4$ jtk/g.

W przypadku bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* nie stwierdzono ich obecności bezpośrednio po ich produkcji i w trakcie przechowywania batonów w warunkach pokojowych (Tab. 20). Wynik ten świadczy o prawidłowej higienie podczas procesu wytwarzania batonów, obróbki termicznej i warunkach przechowywania.

Liczba bakterii przetrwalnikujących bezpośrednio po produkcji zawierała się w zakresie od $1,1 \cdot 10^2$ do $3,4 \cdot 10^2$ jtk/g. W większości batonów z sokami NFC liczba bakterii przetrwalnikujących wzrosła nieznacznie po 7 dniach przechowywania w warunkach imitujących warunki handlowe. Jedynie w przypadku batonów z dodatkiem błonnika Psyllium oraz soku NFC z pigwy, nie zaobserwowano wzrostu liczby bakterii. W pozostałych przypadkach liczba tych bakterii po 7 dniach przechowywania oscylowała na poziomie od $1,4 \cdot 10^2$ do $4,8 \cdot 10^2$ jtk/g.

Tabela 20. Mikroflora gotowych batonów wielozłarnistych

Rodzaj batona błonnik/ sok NFC	Drożdże i pleśnie[jtk/g]					Enterobacteriaceae[jtk/g]				Gronkowce[jtk/g]				
	Czas przechowywania [dni]					Czas przechowywania [dni]				Czas przechowywania [dni]				
	0	7	SD	14	SD	0	7	14	SD	0	7	SD	14	SD
Psyll/Pigwa	nb w 0,1 g	2,3·10 ⁴	3,5·10 ¹	5,5·10 ⁶	1,4·10 ⁴	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	2,1·10 ¹	1,4·10 ⁰
Psyll/Róża	nb w 0,1 g	2,6·10 ⁴	1,4·10 ¹	3,8·10 ⁶	7,1·10 ³	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	1,1·10 ¹	0,7·10 ⁰
Psyll/Porzeczka	nb w 0,1 g	2,1·10 ²	7,1·10 ⁰	4,5·10 ⁵	7,1·10 ³	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	-
Jabł+Kakao/Pigwa	nb w 0,1 g	6,0·10 ²	0,00	2,4·10 ⁵	7,1·10 ³	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	5,1·10 ¹	7,1·10 ⁻¹	nb w 0,1 g	-
Jabł+Kakao/Róża	nb w 0,1 g	1,2·10 ²	2,8·10 ¹	2,3·10 ⁵	1,4·10 ⁴	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	1,1·10 ¹	1,4·10 ⁰	7,2·10 ¹	2,8·10 ⁰
Jabł+Kakao/Porzeczka	nb w 0,1 g	8,2·10 ²	2,8·10 ¹	2,1·10 ⁵	1,4·10 ⁴	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	-
Porzeczka/Pigwa	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	4,2·10 ⁵	2,1·10 ⁴	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	-
Porzeczka/Róża	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	5,8·10 ⁵	7,1·10 ³	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	2,0·10 ¹	0,0
Porzeczka/Porzeczka	nb w 0,1 g	2,2·10 ²	2,1·10 ¹	5,2·10 ⁵	1,4·10 ⁴	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	nb w 0,1 g	-	nb w 0,1 g	-

Po 14 dniach przechowywania w temperaturze pokojowej największą liczbę bakterii przetrwalnikujących oznaczono w batonach z błonnikiem z czarnej porzeczki i sokiem z czarnej porzeczki, a także w batonach z błonnikiem z czarnej porzeczki i sokiem z pigwy oraz batonach z błonnikiem Psyllium i sokiem z czarnej porzeczki. W pozostałych próbkach nie stwierdzono znacznego wzrostu liczby bakterii przetrwalnikujących. Najniższą liczbę tych bakterii po 7 i 14 dniach przechowywania oznaczono w batonach z błonnikiem jabłkowym i kakao oraz z sokiem NFC z dzikiej róży.

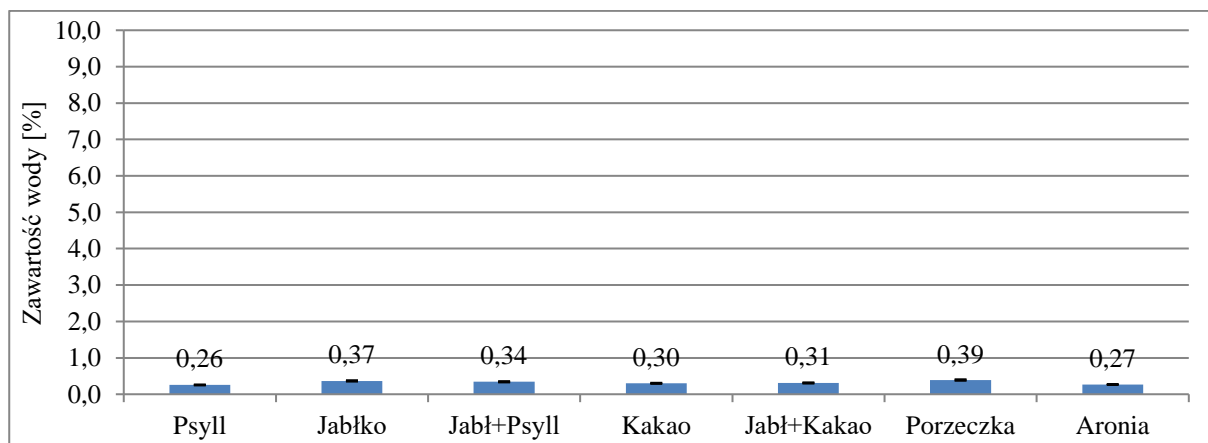
W żadnym z wariantów nie oznaczono obecności gronkowców po bezpośredniej produkcji, jak i w większości batonów po 7 dniach przechowywania w warunkach pokojowych. Jedynie w przypadku batonów z mieszanką błonnika jabłkowego z kakaowym i sokiem z pigwy oraz batonów z mieszanką błonnika jabłkowego i kakaowego i sokiem z dzikiej róży stwierdzono ich obecność po 7 dniach przechowywania. Po 9 i 14 dniach przechowywania tych wariantów liczba gronkowców wzrosła do $7,2 \cdot 10^1$ jtk/g. Obecność gronkowców po 14 dniach przechowywania zanotowano również w batonach z błonnikiem Psyllium i sokiem z pigwy

oraz batonach z błonnikiem psyllium z sokiem z róży, a ich liczba zawierała się od $1,1 \cdot 10^1$ do $2,1 \cdot 10^1$ jtk/g. Dla pozostałych próbek nie stwierdzono obecności gronkowców.

Obecności pleśni i grzybów nie stwierdzono w żadnej z próbek bezpośrednio po produkcji. Tendencja ta utrzymała się do 7 dnia przechowywania w warunkach pokojowych w dwóch przypadkach: batona z błonnikiem z czarnej porzeczki oraz sokiem z pigwy i batona z tym samym błonnikiem, ale z sokiem z dzikiej róży. W pozostałych przypadkach liczba pleśni i grzybów zawierała się w zakresie od $1,2 \cdot 10^2$ jtk/g (batony z błonnikiem jabłkowym i kakaowym i sokiem z róży) do $2,6 \cdot 10^4$ jtk/g (batony z błonnikiem Psyllium i sokiem z róży). Natomiast po 14 dniach przechowywania liczba pleśni i grzybów wzrosła znacząco we wszystkich batonach. Najwyższą wartość, wynoszącą powyżej 10^6 jtk/g, oznaczono w batonach z błonnikiem Psyllium i z sokiem z pigwy oraz dzikiej róży.

4.12. Właściwości surowców wykorzystanych do produkcji batonów wieloziarnistych

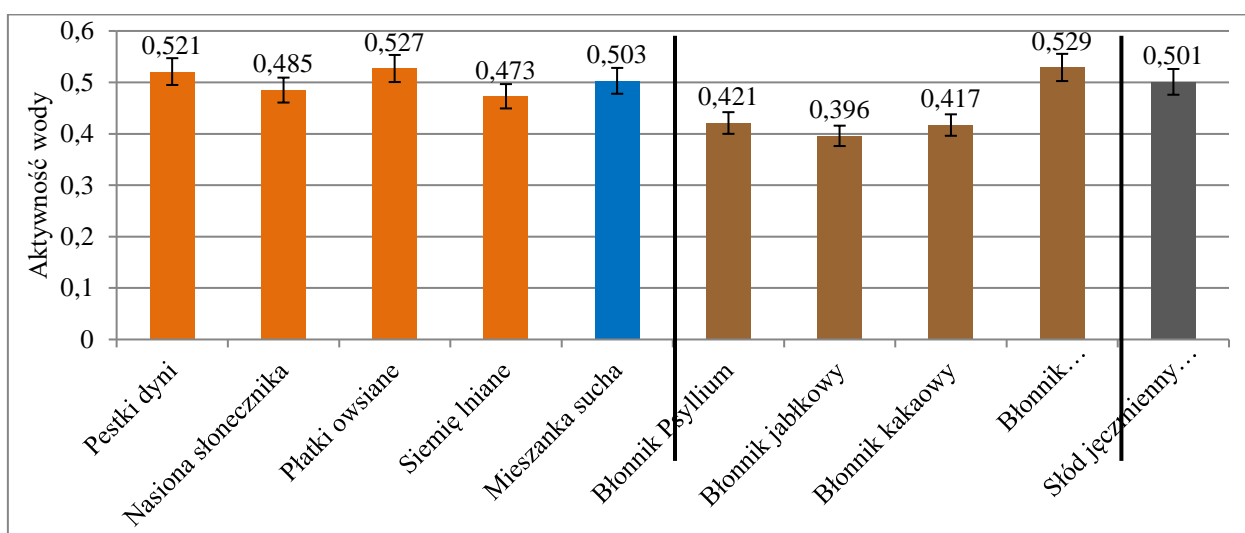
Dobór surowców wykorzystanych do produkcji batonów wieloziarnistych, z uwzględnieniem podziału na tzw. składniki ziarniste i preparaty błonnikowe oraz składniki wiążące, rozpatrywano pod względem wybranych właściwości fizyko-chemicznych, by ocenić, które z nich mogły mieć największy wpływ na właściwości batonów jako produktów końcowych. Spośród najważniejszych wskaźników zbadano zawartość i aktywność wody, odczyn pH oraz barwę składników surowcowych.



Rysunek 33. Zawartość wody błonników użytych do wytwarzania batonów wieloziarnistych

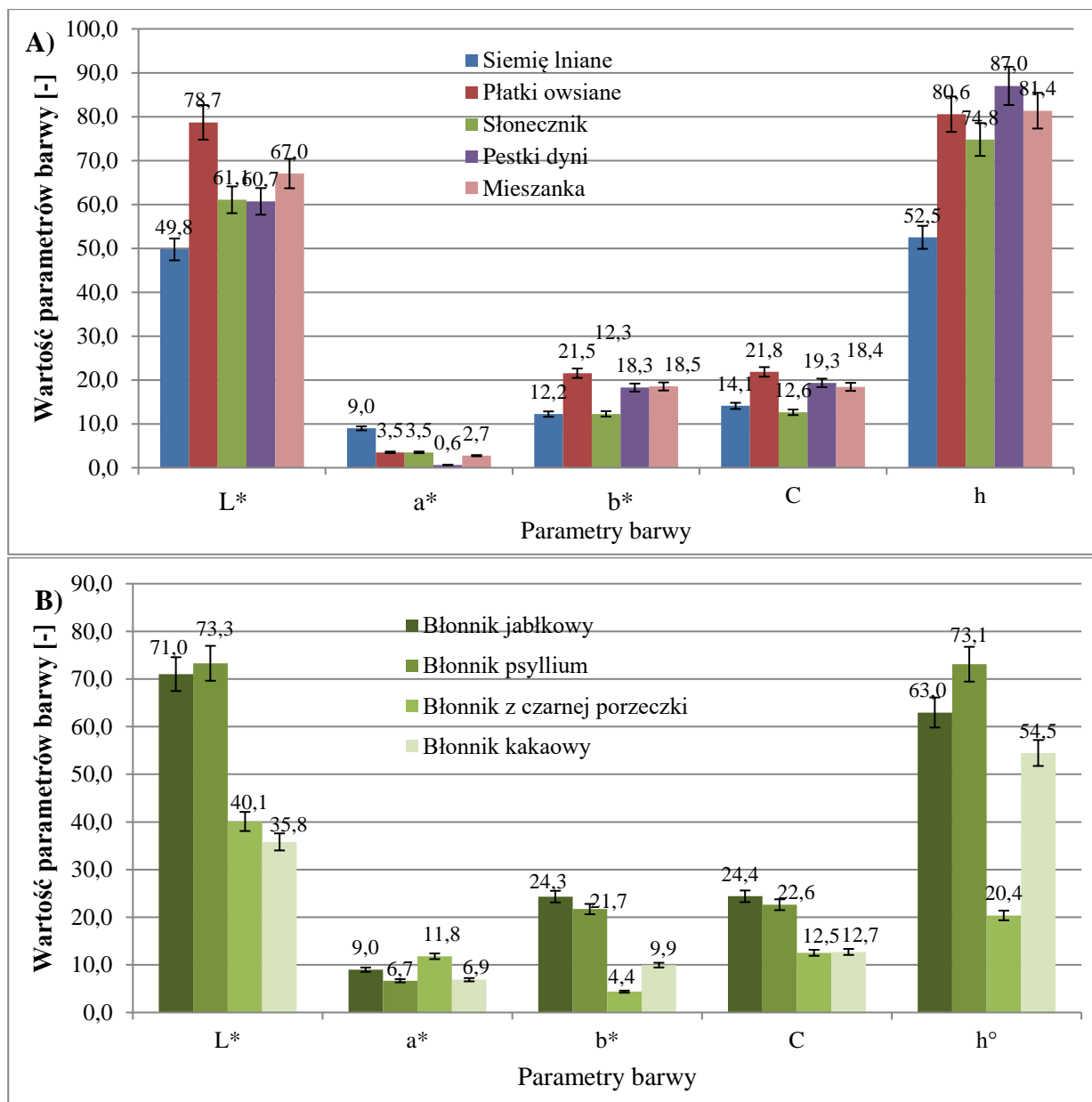
Zastosowane do wytwarzania batonów wieloziarnistych preparaty błonnikowe i ich mieszanki charakteryzowały się bardzo niską zawartością wody, w zakresie 0,26-0,39% (Rys. 33). Najniższą wilgotnością wśród błonników charakteryzowała się mieszanka błonników jabłkowego i Psyllium (0,30%), natomiast najwyższą błonnik z czarnej porzeczki (0,39%).

Zbadano aktywność wody surowców użytych do wytwarzania batonów wieloziarnistych (Rys. 34). Sucha mieszanka batonów bazowych przed dodaniem składnika wiążącego (wody) zawierająca błonnik z Psyllium wykazywała aktywność wody na poziomie 0,503. Najwyższą aktywność wody wykazywał błonnik z czarnej porzeczki (0,529) oraz płatki owsiane (0,527), natomiast najniższą wartość wśród preparatów błonnikowych miał błonnik jabłkowy (0,396), natomiast wśród surowców nasiona słonecznika (0,485).



Rysunek 34. Aktywność wody surowców bazowych i w ramach modyfikacji receptury I i II użytych do wytwarzania batonów wieloziarnistych

Wartości pH dla surowców użytych do produkcji batonów wieloziarnistych, tj. pestek dyni, nasion słonecznika, siemienia lnianego i pełnoziarnistych płatków owsianych charakteryzowały się odczynem obojętnym (pH = około 7,0), dlatego nie sporządzono zestawienia tych danych. Zarówno „ziarniste” składniki batonów bazowych, jak i preparaty błonnikowe odznaczały się stosunkowo wysoką jasnością barwy. Najwyższą wartością pod względem jasności barwy L* charakteryzowały się płatki owsiane (78,70), a najniższą błonnik z czarnej porzeczki (40,09) (Rys. 35A, B). Wysoką jasnością barwy odznaczały się też preparaty błonnika jabłkowego i Psyllium, odpowiednio około 71,0 i 73,3. Jasność barwy pestek dyni i nasion słonecznika była na podobnym poziomie, około 61, a niższa w barwie siemienia lnianego (49,8). Mieszanka składników suchych, przygotowana do połączenia ze składnikiem wiążącym (po zmieleniu) odznaczała się dość wysoką jasnością barwy, na poziomie 67,0.



Rysunek 35. Parametry barwy surowców użytych do wytwarzania batonów wielozziarnistych: A) składników ziarnistych, B) preparatów błonnikowych

Wartości parametru a „ziarnistych” składników surowcowych batonów bazowych mieściły się w zakresie 0,6-9,0, a preparaty błonnikowe 6,7-11,8 (Rys. 35A, B). Udział barwy czerwonej większości surowców był niewielki. W efekcie również mieszanka składników suchych odznaczała się wartością a na poziomie 2,7. Najwyższą wartością parametru a* charakteryzowała się barwa siemienia lnianego (8,97), a spośród preparatów błonnikowych błonnik z czarnej porzeczki (11,80), a najniższą pestki dyni (0,64) i błonnik Psyllium (6,66).

W przypadku „ziarnistych” składników surowcowych batonów bazowych wartości barwy parametru b* mieściły się w zakresie 12,2-21,5, a preparaty błonnikowe 4,4-24,3 (Rys. 35A, B). Zatem w barwie większości surowców udział barwy żółtej był nawet kilkakrotnie

większy niż czerwonej. Spośród składników „ziarnistych” wyższymi wartościami b* odznaczały się płatki owsiane i pestki dyni, odpowiednio około 21,5 i 18,2, natomiast spośród preparatów błonnikowych najwyższą wartość parametru b* wykazywał błonnik jabłkowy (24,3). Spośród najniższych wartości tego parametru należy wyróżnić siemienia lnianego i dyni (około 12,2), a spośród błonników błonnik z czarnej porzeczki (około 4,4). Mieszanka składników suchych charakteryzowała się udziałem barwy żółtej na poziomie 18,5, tj. prawie siedmiokrotnie wyższym niż udział barwy czerwonej.

Analizując barwę „ziarnistych” składników surowcowych batonów bazowych pod względem nasycenia barwy C, wartości tego wskaźnika mieściły się w zakresie 12,6-21,8, a preparaty błonnikowe 12,5-24,4 (Rys. 35A, B). Najwyższą wartością parametru C charakteryzował się błonnik jabłkowy (24,39) a także błonnik Psyllium (22,6) oraz płatki owsiane i pestki dyni, odpowiednio 19,3 i 21,8. Natomiast najniższą wartość (12,53) stwierdzono w przypadku barwy błonnika z czarnej porzeczki oraz nasion słonecznika i siemienia lnianego (12,6 i 14,1). Mieszanka składników suchych odznaczała się pośrednim nasyceniem barwy C wynoszącym 18,4.

Wartości tonu barwy większości „ziarnistych” składników surowcowych batonów bazowych mieściły się w zakresie 74,8-87,0°, a jedynie ton barwy siemienia lnianego był na poziomie 52,5° (Rys. 34A). Preparaty błonnikowe, zwłaszcza jabłkowy i Psyllium, wykazywały ton barwy na poziomie 63,0-73,0° (Rys. 25 B), a tylko odcień barwy błonnika z czarnej porzeczki był niski (około 20,4°). Najwyższą wartość parametru h° charakteryzowały się pestki dyni (87,0°) natomiast najniższą wartość (20,4°) błonnik z czarnej porzeczki. Podobnie jak w innych przypadkach, mieszanka składników suchych charakteryzowała się pośrednim, wypadkowym, wynikającym z kombinacji tonów parametrem h wynoszącym 81,4°.

5. Wnioski

Wyniki badań przeprowadzonych w niniejszej pracy pozwoliły na weryfikację hipotezy badawczej, zakładającej, że receptura batonów złożona ze składników ziarnistych i preparatów błonnikowych umożliwia otrzymanie łatwego do formowania ciasta, a po pieczeniu produktu o pożądanych właściwościach fizykochemicznych, sensorycznych oraz wysokiej wartości odżywczej i prozdrowotnej. Dobór preparatu błonnikowego ułatwia opracowanie technologii wytwarzania batonów wskutek zwiększenia kleistości i zwięzłości ciasta oraz ograniczenia kruszenia pieczonych batonów. Odpowiednie metody suszenia batonów, alternatywnie do pieczenia, umożliwiają wytwarzanie batonów wysokiej jakości z zastosowaniem niższej temperatury procesu. Zastosowanie soków NFC wzbogaca batony oraz wpływa na obniżenie pH, ograniczając ryzyko rozwinięcia szkodliwej mikroflory bakteryjnej i zwiększenie trwałości batonów. Zastąpienie wody sokiem z jabłek, a także dodatek świeżych wyłoków jabłkowych lub białka grochowego, powoduje zwiększenie zawartości naturalnych składników oraz umożliwia kształtowanie właściwości sensorycznych, a także wartości energetycznej batonów.

Weryfikacja hipotezy została oparta na następujących stwierdzeniach i wnioskach:

1. Składniki zbożowe i ziarniste z dodatkiem preparatów błonnikowych i wody lub soków NFC wpływały korzystnie na formowanie ciasta i otrzymanie batonów o pożądanych właściwościach fizykochemicznych. Preparat błonnika Psyllium lub w formie mieszanki z błonnikiem jabłkowym był najbardziej przydatny zarówno pod względem spoistości ciasta batonowego, jak i jakości batonów wytwarzanych metodą pieczenia lub suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego. Ze względu na brak odpowiedniej zwięzłości na etapie wytwarzania ciasta batonowego nieprzydatne okazało się zastosowanie preparatu błonnika z hibiskusa.
2. Najlepszą metodą do wytwarzania batonów wieloziarnistych w warunkach laboratoryjnych było pieczenie i alternatywne do pieczenia, suszenie mikrofalowo-konwekcyjne, głównie ze względu na jakość otrzymanego produktu i czas trwania procesu. Przydatną metodą, popartą uzyskanymi cechami jakościowymi batonów, było konwekcyjne suszenie taśmowe, ale zrezygnowano z niego ze względu na zbyt długi czas procesu. Najdłuższy czas procesu, a także trudność optymalizacji warunków suszenia były powodem rezygnacji z zastosowania suszenia liofilizacyjnego.
3. Batony wykazywały stosunkowo wysoką zawartość i aktywność wody, w zakresie odpowiednio 23,3-24,1% i 0,83-0,86. Zastosowanie preparatów błonnikowych w recepturze ciasta batonowego, a także suszenie mikrofalowo-konwekcyjne spowodowało istotne obniżenie zawartości wody do 12,6-15,4%, szczególnie po użyciu mieszanki błonników

jabłkowego i Psyllium, z czarnej porzeczki oraz kakaowego. Pomimo obniżenia wilgotności, aktywność wody batonów utrzymywała się na podobnym poziomie (0,82-0,87), za wyjątkiem próbki z dodatkiem błonnika porzeczkowego (około 0,77). Zastosowanie soków NFC wpłynęło na istotne obniżenie zawartości i aktywności wody w batonach suszonych (odpowiednio 16,7-18,8% i 0,74-0,77). W porównaniu do wilgotności batonów bazowych (19,5%) zastosowanie soku i wytlóków z jabłek wpłynęło na zwiększenie zawartości wody o 2,4-6,4 punkty procentowe oraz niewielkie zwiększenie aktywności wody, o 0,05-0,037. Dodatek białka grochu wpłynął na obniżenie aktywności wody bez większych zmian zawartości wody i pH.

4. Wartość pH batonów, oznaczona w zakresie 6,40-6,70, nie zależała od metody wytwarzania batonów i zastosowanego preparatu błonnikowego, ale uległa znacznemu obniżeniu po modyfikacji receptury poprzez wprowadzenie soków NFC zamiast wody, szczególnie w przypadku użycia soku z czarnej porzeczki (4,86-4,96).
5. Spośród preparatów błonnikowych, Psyllium i jego mieszanka z błonnikiem jabłkowym stanowiły najlepsze składniki wiążące, zapewniając odpowiednią konsystencję ciasta batonowego, umożliwiając łatwe formowanie batonów, o najwyższej twardości, sprężystości, gumistości i żujności. Również zastąpienie wody sokiem NFC wpłynęło na zwiększenie wartości wskaźników TPA.
6. Rodzaj błonnika wpłynął istotnie na wyróżniki tekstury wieloziarnistych batonów pieczonych, głównie na sprężystość, kohezyjność, gumistość i żujność. Błonnik Psyllium powodował największą sprężystość (0,8), a także kohezyjność (0,46) batonów, około 2,5 krotnie większą w stosunku do próbek zawierających pozostałe preparaty błonnikowe oraz batonów kontrolnych. Najniższą sprężystością charakteryzowały się batony z mieszanką błonnika z jabłek i kakao (0,35). Udział białka w recepturze batonów spowodował 2-krotne zwiększenie twardości i pracy ściskania w odniesieniu do prób kontrolnych.
7. Ze względu na udział w recepturze takich składników, jak pełnoziarniste płatki owsiane, pestki dyni, nasiona słonecznika i siemię lniane, batony bazowe (z błonnikiem Psyllium) charakteryzowały się znaczącą zawartością składników odżywczych, tj. węglowodanów, tłuszczu i białek, a także błonnika ogółem, odpowiednio średnio 31,2; 26,6 i 16,6%. Zastosowanie świeżego soku i wytlóków z jabłek w ilości 2-12% powodowało nieznaczne (do 3,6 i 8,4%) obniżenie zawartości odpowiednio węglowodanów i białka oraz statystycznie istotne zmniejszenie zawartości tłuszczu i nierozpuszczalnej frakcji błonnika (odpowiednio do 17,2 i 17,7%) oraz związków mineralnych (do 14,7%). Jednocześnie nastąpiło zwiększenie zawartości błonnika ogółem i frakcji rozpuszczalnej błonnika, do 11,9%. Oznaczono niższą

zawartość polifenoli ogółem o około 17-27%, a jednocześnie nawet 3-krotne wyższą aktywność przeciwutleniającą, co mogło wynikać zarówno ze zmian pH, jak również wyższej zawartości białka, które może ograniczać dostępność związków polifenolowych.

8. Wartość energetyczna batonów było stosunkowo wysoka, w zakresie 287-309 kcal/100 g, jednak o 34-50% niższa w porównaniu do wybranych batonów rynkowych. Dodatek białka grochowego spowodował nieznaczne obniżenie kaloryczności batonów.
9. NNKT były dominującymi kwasami w tłuszczu zawartym w batonach i stanowiły 85,7-86,4%. Wśród oznaczonych NNKT dominowały kwasy linolowy, oleinowy, γ -linolenowy, tj. kwasy omega pożądane w codziennej diecie. Kwas linolowy, należący do egzogennych kwasów tłuszczowych omega-6, występował w największej ilości.
10. Najwyższą zawartość akrylamidu stwierdzono w pieczonych batonach kontrolnych (bez błonnika) (około 57,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$), wielokrotnie niższą od poziomu dopuszczalnego w żywności. Zastąpienie wody sokiem NFC oraz suszenie mikrofalowo-próżniowe wpłynęło na kilkukrotne obniżenie zawartości akrylamidu, do 8,9-16,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, co mogło wynikać z zastosowanych parametrów termicznych procesu.
11. Zastosowanie błonników z różnych surowców roślinnych, jak Psyllium, jabłkowego, kakaowego oraz z czarnej porzeczki, zastąpienie wody sokiem z pigwy, dzikiej róży, czarnej porzeczki oraz jabłek, a także dodanie świeżych wyłoków jabłkowych lub białka grochowego spowodowało zwiększenie zawartości naturalnych składników bioaktywnych i wpłynęło na kształtowanie właściwości sensorycznych batonów wieloziarnistych. Związki polifenolowe, m.in antocyjany zawarte w owocach, sokach owocowych i wyłokach wpłynęły na barwę i smak analizowanych produktów, co zostało pozytywnie ocenione i zaakceptowane przez panel sensoryczny. Błonnik Psyllium i w mniejszym stopniu błonnik jabłkowy wpływały na utrzymanie wyższej wilgotności i kształtowanie pożądanej tekstury batonów.
12. Surowce podstawowe, jak i wykorzystane do modyfikacji receptury batonów wieloziarnistych charakteryzowały się wysoką jakością mikrobiologiczną. W przypadku najbardziej zanieczyszczonych surowców, zwłaszcza pestek dyni i siemienia lnianego oraz słodu jęczmiennego, stwierdzono obecność drobnoustrojów mezofilnych ($5,0 \cdot 10^1$ - $9,8 \cdot 10^3$ jtk/g), bakterii przetrwalnikujących ($4,1 \cdot 10^1$ - $9,7 \cdot 10^2$ jtk/g) oraz drożdży i pleśni ($2,0$ - $5,1 \cdot 10^2$ jtk/g). Zarówno w surowcach, jak i produktach nie stwierdzono obecności bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* i gronkowców. Najbardziej zauważalny wzrost liczby tych bakterii jak i bakterii przetrwalnikujących nastąpił podczas przechowywania batonów przez 7 dni. Po 14 dniach przechowywania liczba drobnoustrojów mezofilnych, a także pleśni i grzybów wzrosła znacząco we wszystkich batonach.

6. Spis literatury

1. Achremowicz B., Ceglińska A., Darmetko M., Haber T., Jankowska J., Karpiński P., Tarasiewicz R. (2017). Charakterystyka wybranych surowców roślinnych i możliwości ich wykorzystania jako dodatków do ciast chlebowych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 97-109.
2. Agbaje R., Hassan C.Z., Arifin N., Rahman A.A. (2014). Sensory preference and mineral contents of cereal bars made from glutinous rice flakes and Sunnah Foods. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8, 12 Ver. II, 26-31.
3. Aigster A., Duncan S.E., Conforti F.D., Barbeau W.E. (2011). Physicochemical properties and sensory attributes of resistant starch-supplemented granola bars and cereals. *LWT- Food Science Technological*, 44(10), 2159-2165.
4. Ajandouz E.H., Desseaux V., Tazi S., Puigserver A. (2008). Effects of temperature and pH on the kinetics of caramelisation, protein cross-linking and Maillard reactions in aqueous model systems. *Food Chemistry*, 107(3), 1244-1252.
5. Alves E., Simoes A., Domingues M.R. (2021). Fruit seeds and their oils as promising sources of value-added lipids from agro-industrial byproducts: Oil content, lipid composition, lipid analysis, biological activity and potential biotechnological applications. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 61(8), 1305-1339.
6. American Association of Cereal Chemists (AAC) (2001). The Definition of Dietary Fiber. Report of the Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors of the AAC, 46, 112-126.
7. Amin M.Z., Islam T., Uddin M.R., Uddin M.J., Rahman M.M., Satter M.A. (2019). Comparative study on nutrient contents in the different parts of indigenous and hybrid varieties of pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon*, 5(9), E02462.
8. Anderson B.T., Ruane A.C., Roads J.O., Kanamitsu M. (2009). Estimating the influence of evaporation and moisture-flux convergence upon seasonal precipitation rates. Part II: An analysis for North America based upon the NCEP-DOE Reanalysis II Model. *Journal of Hydrometeorology*, 10, 893-911.
9. Aprikian O., Duclos V., Guyot S., Besson C., Manach C., Bernalier A., Morand C., Rémésy C., Demigné C. (2003). Apple pectin and polyphenol-rich apple concentrate are more effective together than separately on cecal fermentations and plasma lipids in rats. *The Journal of Nutrition*, 133, 1860-1865.
10. Aranceta J., Pérez-Rodrigo C. (2012). Recommended dietary reference intakes, nutritional goals and dietary guidelines for fat and fatty acids: a systematic review. *The Journal of Nutrition*, 107(S2), S8-S22.
11. Asghar M.A., Ahmed A., Zahir E., Asghar M.A., Iqbal J., Walker G. (2017). Incidence of aflatoxins contamination in dry fruits and edible nuts collected from Pakistan. *Food Control*, 78, 169-175.
12. Baca E., Kapka A., Karaś M., Zielińska D. (2011). Influence of addition of apple fibre preparation to wheat flour on the functional properties of dough and bread quality. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 92(4), 868-871.
13. Bakoniuk J., Miastkowski K., Leszczuk T. (2013). Wpływ lepszczu na charakterystykę granulometryczną błonnika spożywczego granulowanego beziśnieniowo. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 23/42(1), 12-18.
14. Barth S.W., Koch T., Watzl B., Dietrich H., Will F., Bub A. (2012). Moderate effects of apple juice consumption on obesity-related markers in obese men: impact of diet-gene interaction on body fat content. *European Journal of Nutrition*, 51, 841-850.
15. Bchir B., Jean-François T., Rabetafika H.N., Blecker C. (2018). Effect of pear apple and date fibres incorporation on the physico-chemical, sensory, nutritional characteristics and the acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 24(3), 198-208.

16. Becalski A., Brady B., Feng S., Gauthier B.R., Zhao T. (2011). Formation of acrylamide at temperatures lower than 100 °C: the case study of prunes and a model study. *Food Additives and Contaminants –Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 28(6), 726-730.
17. Belcar J., Kaszuba J., Gorzelany J. (2022). Effect of wheat and barley malt addition on the quality of the baking blend and wheat bread. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 72(2), 129-139.
18. Benjakul S., Pisuchpen S., O'Brien N., Karnjanapratum S. (2019). Effect of antioxidants, and packing conditions on storage stability of cereal bar fortified with hydrolyzed collagen from seabass skin. *Italian Journal of Food Science*, 31(2), 347-366.
19. Bhagwat S., Haytowitz D.B., Holden J.M. (2014). USDA database for the flavonoid content of selected foods. Release 3.1. US Department of Agriculture: Beltsville, MD, USA.
20. Bilgiçli N., İbanog˘lu Ş., Herken E.N. (2007). Effect of dietary fibre addition on the selected nutritional properties of cookies. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 86-89.
21. Binou P., Yanni A.E., Karathanos V.T. (2020). Physical properties, sensory acceptance, postprandial glycemic response, and satiety of cereal based foods enriched with legume flours: a review. *Critical Reviews Food Science Nutrition*, 1-19.
22. Biswas A.K., Kumar V., Bhosle S., Sahoo J., Chatli M.K. (2011). Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *International Journal of Livestock Production*, 2(4), 45-54.
23. Bohdan M. (2009). Walory zdrowotne wyrobów typu musli. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 57(07).
24. Borkowska B., Opolska J. (2017). Ocena jakości sensorycznej wybranych batonów owocowo-zbożowych. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 99, 149-155.
25. Borowy T., Kubiak M.S. (2014). Hydrokoloidy stosowane w przetwórstwie mięsnym. *Ogólnopolski Infrom Mas*, 8, 46-56.
26. Brar P.K., Danyluk M.D. (2018). Nuts and grains: microbiology and preharvest contamination risks. *Microbiology Spectrum*, 6(2), 1-12.
27. Brunauer S., Deming L.S., Teller E. (1940). On a theory of Van der Waals adsorption of gases. *J Am Chem Soc.*, 62(7), 1723-1732.
28. Calin-Sanchez A., Lipan L., Cano-Lamadrid M., Kharaghani A., Masztalerz K., Carbonel-Barrachina A., Figiel A. (2020). Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*, 9, 1-27.
29. Carvalho M., Silva B.M., Silva R., Valentao P., Andrade P.B., Bastos M.L. (2010). First report on *Cydonia oblonga Miller* anticancer potential: differential antiproliferative effect against human kidney and colon cancer cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 3366–3370.
30. Carvalho V.S., Conti-Silva A.C. (2018). Cereal bars produced with banana peel flour: evaluation of acceptability and sensory profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 134-139.
31. Charzewska J., Jarosz M., Wajszczyk B., Chwojnowska Z. (2020). Białka. W: Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie. Red.: Jarosz M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska J. Wyd. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny.
32. Chen J., Zhang M., Xu B., Sun J., Mujumdar A.S. (2020). Artificial intelligence assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical fields: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 105, 251-260.
33. Ciurzyńska A., Lenart L. (2010). Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 267-274.

34. Ciurzyńska A., Lenart A., Siemiątkowska M. (2011). Wpływ odwadniania osmotycznego na barwę i właściwości mechaniczne liofilizowanych truskawek. *Acta Agrophysica*, 17(1), 17-32.
35. Ciurzyńska A., Popkowicz P., Galus S., Janowicz M. (2022). Innovative freeze-dried snacks with sodium alginate and fruit pomace (only apple or only chokeberry) obtained within the framework of sustainable production. *Molecules*, 27(10), 3095.
36. Cuccurullo G., Giordano L., Metallo A., Cinquanta L. (2018). Drying rate control in microwave assisted processing oh sliced apples. *Biosystem Engineering*, 170, 24-30.
37. Cybulska J., Mierczyńska J. (2018). Sposób otrzymywania uniwersalnego dodatku do żywności do stabilizacji tekstury albo zagęszczania, zwłaszcza z wyłoków jabłkowych oraz dodatek otrzymany tym sposobem. Patent PL 227863 B1.
38. Cybulska J., Zdunek A., Sitkiewicz I., Galus S., Janiszewska E., Łaba S., Nowacka M. (2013). Możliwości zagospodarowywania wyłoków i innych odpadów przemysłu owocowo-warzywnego. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 9, 27-29.
39. Czajkowska K., Kowalska H. (2017). Metody wytwarzania przekąsek owocowych wzbogacanych w składniki naturalne. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 27(1), 110-115.
40. Da Silva E.P., Siqueira H.H., do Lago R.C., Rosell C.M., Vilas Boas E.V.D.B. (2014). Developing fruit - based nutritious snack bars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(1), 52-56.
41. Damasceno A.K., Gonçalves C.A., Dos Santos P.G., Lacerda C.L., Bastianello C.P.C., ArantesPereira L. (2016). Development of cereal bars containing pineapple peel flour (*Ananascomosus L. Merrill*). *J Food Qual*, 39(5), 417-424.
42. Dar B.N., Sharma S., Nayik G.A. (2016). Effect of storage period on physiochemical, total phenolic content and antioxidant properties of bran enriched snacks. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(4), 755-761.
43. Derewiaka D., Górka J. (2012). Charakterystyka tłuszczów występujących w wybranych batonach zbożowych. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 45(3), 408-413.
44. Derossi A., Paolillo M., Caporizzi R., Severini C. (2020). Extending the 3D food printing tests at high speed. Material deposition and effect of non-printing movements on the final quality of printed structures. *Journal of Food Engineering*, 275, 109865.
45. Dias M.G., Camões M.F.G., Oliveira L. (2014). Carotenoid stability in fruits, vegetables and working standards—Effect of storage temperature and time. *Food Chemistry*, 156, 37-41.
46. Dotto, J.M., Chacha, J.S. (2020). The potential of pumpkin seeds as a functional food ingredient: A review. *Scientific Afrcan*, 10, E0575.
47. Dutcosky S.D., Grossmann M.V.E., Silva R.S.S., Welsch A.K. (2006). Combined sensory optimization of a prebiotic cereal product using multicomponent mixture experiments. *Food Chemistry*, 98(4), 630-638.
48. Dzuvor C.K.O., Taylor J.T., Acquah C., Pan S., Agyei D. (2018). Bioprocessing of Functional Ingredients from Flaxseed. *Molecules*, 23(10), 2444.
49. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on Dietary Reference Values for energy. *EFSA Journal* 2013, 11(1), 3005.
50. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal* 2010, 8(3), 1462.
51. Ekiert K., Dochniak M. (2015). Superfoods - idealne uzupełnienie diety czy zbędny dodatek? *Pielęgniarstwo i Zdrowie Publiczne*, 5(4), 401-408.
52. Elia M., Cummings J.H. (2007). Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(1), S40-S74.

53. Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C., Attia H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411-421.
54. Estévez A.M., Escobar B., Vasquez M., Castillo E., Araya E., Zacarias I. (1995). Cereal and nut bars, nutritional quality and storage stability. *Plant Foods for Human Nutrition*, 47(4), 309-317.
55. Eswaran S., Muir J., Chey W.D. (2013). Fiber and functional gastrointestinal disorders. *Official journal of the American College of Gastroenterology ACG*, 108(5), 718-727.
56. Falade K.O., Aworh O.C. (2004). Adsorption isotherms of osmo-oven dried African star apple (*Chrysophyllum albidum*) and African mango (*Irvingia gabonensis*) slices. *European Food Research and Technology*, 218, 278-283.
57. Farinazzi-Machado F.M.V., Barbalho S.M., Oshiiwa M., Goulart R., Pessan Junior O. (2012). Use of cereal bars with quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) to reduce risk factors related to cardiovascular diseases. *Food Science and Technology*, 32(2), 239-244.
58. Ferreira M.S., Santos M.C., Moro T.M., Basto, G.J., Andrade R.M., Gonçalves É.C. (2015). Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 822-830.
59. Floret C., Monnet A.F., Micard V., Walrand S., Michon C. (2021). Replacement of animal proteins in food: How to take advantage of nutritional and gelling properties of alternative protein sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-27.
60. Furmaniak S. (2013). Sorpcja wody przez produkty żywnościowe. Cz.1. Laboratoria. Aparatura. Badania, 4, 50-53.
61. Gajewska M., Głowacka A. (2019). Ocena zawartości wybranych mykotoksyn w suszonych owocach dostępnych w sprzedaży detalicznej w sklepach ekologicznych i hipermarketach. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(119), 124-135.
62. García M.C., Lobato L.P., Benassi M.D.T., Soares Júnior, M.S. (2012). Application of roasted rice bran in cereal bars. *Food Science and Technology*, 32(4), 718-724.
63. Gibiński M., Gumul D., Korus J. (2005). Prozdrowotne właściwości owsa i produktów owsianych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(45), 49-60.
64. Głowała A. (2021). Szczególne właściwości żywności – oświadczenia żywieniowe i zdrowotne. *Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH. Państwowy Instytut Badawczy*.
65. Godula K., Czerniejewska-Surma B., Dmytrów I., Plust D., Surma O. (2019). Możliwości zastosowania błonnika pokarmowego do produkcji żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 26(2), 5-17.
66. Gondek, E., Lewicki, P.P. (2005). Izotermy sorpcji pary wodnej suszonych i kandyzowanych owoców. *Acta Scientiarum Polonorum-Technologia Alimentaria*, 4(1), 65.
67. Gondek, E., Jakubczyk, E., Cacak-Pietrzak, G., & Rutkowski, K. (2010). Właściwości sorpcyjne ziarna pszenicy. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, (2), 68-72.
68. Górecka D. (2008). Błonnik pokarmowy. Znaczenie żywieniowe i technologiczne. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 11, 23-26.
69. Górecka D., Aniola J., Dziedzic K., Lawniczak P. (2008). Wpływ stopnia rozdrobnienia mikronizowanych preparatów wysokobłonnikowych na ich wybrane właściwości funkcjonalne. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 15(3), 89-95.
70. Gökmen V., Senyuva H. (2006). Improved method for the determination of hydroxymethylfurfural in baby foods using liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(8), 2845-9.

71. Gökmen V., Şenyuva H.Z. (2007). Effects of some cations on the formation of acrylamide and furfurals in glucose–asparagine model system. *European Food Research and Technology*, 225, 815–820.
72. Grasso S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 99, 284-294.
73. Grigelmo-Miguel N., Abadías-Serós M.I., Martín-Belloso O. (1999). Characterization of low-fat high-dietary fibre frankfurters. *Meat Science*, 52(3), 247-256.
74. Guindani C., Podestá R., Block J.M., Rossi M.J., Mezzomo N., Ferreira S.R. (2016). Valorization of chia (*Salvia hispanica*) seed cake by means of supercritical fluid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 112, 67-75.
75. Gupta M., Abu-Ghannam N., Gallagher E. (2010). Barley for brewing: Characteristic changes during malting, brewing and applications of its byproducts. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 318-328.
76. Habib A., Biswas S., Siddique A.H., Manirujjaman M., Uddin B. (2015). Nutritional and Lipid Composition Analysis of Pumpkin Seed (*Cucurbita maxima* Linn.). *Journal of Food Sciences and Nutrition*, 5(4).
77. Ignaczak A., Masiarz E., Makowska M., Kowalska H. (2022). Kształowanie właściwości przekąski z topinamburu *Helianthus Tuberosus* L. wytwarzanej metodami osmotycznego odwadniania i suszenia. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 29, 1(130), 85 – 99.
78. Internet 1. <https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywienia/zasady-zdrowego-zywienia/piramida-zdrowego-zywienia-i-aktywnosci-fizycznej-dla-osob-doroslych-2/>(dostęp 10-05-2023).
79. Internet 2. <https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywienia/talerz-zdrowego-zywienia/> (dostęp 10-05-2023).
80. Internet 3. http://ptnz.sggw.pl/wp-content/uploads/2017/07/2015_Przekaski_stanowisko_ekspertow (dostęp 06-05-2023).
81. Internet 4. <https://www.portalspozywczy.pl/slodycze-przekaski/wiadomosci/zdrowe-przekaski-coraz-wazniejsze-w-diecie-polakow,109710.html> (dostęp 06-05-2022).
82. Internet 5. <https://www.glanbianutritionals.com/en-mx/nutri-knowledge-center/insights/state-healthy-snack-market-2021>(dostęp 30-04-2023).
83. Internet 6. <https://polska.mintel.com/blog/rynek-zywnosci/czy-warzywa-przyczynia-sie-do-wzrostu-znaczenia-batonow-w-polsce>(dostęp 06-05-2023).
84. Internet 7. https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2019/10/IARCMono-graphs-AGReport-Priorities_2020-2024.pdf. (dostęp 12-10-2021).
85. Internet 8. https://www5.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/4_Learning_Centre/C_A/PRECISE_COLOR_COMMUNICATION/PCC_2020/PCC_POL_2020.pdf (dostęp 16-05-2023).
86. Internet 9. https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosc/5507/3/18/1/rolnictwo_w_2021_r.pdf(dostęp 15-05-2023).
87. Jałoszyński K., Paślawska M., Surma M., Stępień B., Serafin R. (2016). Wpływ mocy mikrofal i ciśnienia w czasie suszenia mikrofalowo-próżniowego na jakość końcową suszu z owoców pigwy. *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, 206-214.
88. Janowicz M., Ciużyńska A., Zielińska M., Lenart A. (2018). „Wygodne” warzywne dania gotowe w ocenie konsumentów. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 28-43.
89. Janowicz M., Kowalska H., Lenart A. (2012). Przyszłość przekąsek owocowych i warzywnych. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 56(02).

90. Jarosławska J., Juśkiewicz J., Wróblewska M., Jurgoński A., Król B., Zduńczyk Z. (2011). Polyphenol-rich strawberry pomace reduces serum and liver lipids and alters gastrointestinal metabolite formation in fructosefed rats. *Journal of Nutrition*, 141, 177–783.
91. Jarosz M., Sajór I., Gugała-Mirosz S., Nagel P. (2019). Do you know how many carbohydrates you need. Food and Nutrition Institute. Warsaw, https://ncez.pzh.gov.pl/wp-content/uploads/2021/03/broszura_weglowodany-2.pdf (dostęp 08-11-2021).
92. Jarosz M., Charzewska J., Mojska H., Stoś K. (2016). Piramida zdrowego żywienia i aktywności fizycznej dla dzieci i młodzieży. Instytut Żywności i Żywienia. Warszawa. <https://ncez.pzh.gov.pl/wp-content/uploads/2021/03/piramida-dla-dzieci-i-mlodziezy-opis.pdf> (dostęp 08-11-2021).
93. Jasińska-Kuligowska I., Suszko P., Kuligowski M. (2018). Wytłoki lniane jako źródło fitoestrogenów i innych związków bioaktywnych. Składniki bioaktywne surowców i produktów roślinnych. Polskie Towarzystwo Technologów Żywności Od. Małopolski. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie. Komitet Nauk o Żywności PAN, 90-101.
94. Jaworska D., Pruska A. (2012). Zastosowanie oceny konsumenckiej w opracowaniu nowych wyrobów spożywczych na przykładzie batonu typu musli. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 570, 53-63.
95. Jessa J., Hozyasz K. (2016). Czarna porzeczka i olej z jej nasion – fitoterapeutyczne panaceum? *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 97(1), 14-23.
96. Jessa J., Hozyasz K.K. (2015). Wartość zdrowotna produktów kokosowych. (The healthvalue of coconut products). *Pediatrics Polska*, 90(5), 415-423.
97. Johnson G.H., Anderson G.H. (2010). Snacking definitions: impact on interpretation of the literature and dietary recommendations. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 50(9), 848-871.
98. Kabak B. (2016). Aflatoxins in hazelnuts and dried figs: Occurrence and exposure assessment. *Food Chemistry*, 211, 8-16.
99. Kassem A., Shokr A., El –Mahdy A., Aboukarima A., Hamed E. (2011). Comparison of drying characteristics of Thompsonseedless grapes using combined microwave oven and hot air drying. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10, 33–40.
100. Kaur P., Sharma P., Kumar V., Panghal A., Kaur J., Gat Y. (2019). Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 372-377.
101. Kędzierska K., Pałacha Z., (2012). Wpływ temperatury na właściwości sorbencyjne suszu jabłek. *Acta Agrophysica*, 19(3), 575-586
102. Khanum F., Swamy M.S., Krishna K.S., Santhanam K., Viswanathan K.R. (2000). Dietary fiber content of commonly fresh and cooked vegetables consumed in India. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55(3), 207-218.
103. Khouryieh H., Aramouni F. (2013). Effect of flaxseed flour incorporation on the physical properties and consumer acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 19(6), 549-556.
104. Kobus-Cisowska J., Kmiecik D., Flaczyk E., Przeor M., Kulczyński B. (2016). Projekt nowego produktu z dodatkiem nasion chia (*Salvia hispanica* L.) jako składnika żywności bioaktywnej. *Innowacyjne Rozwiązania w Technologii Żywności i Żywieniu Człowieka*, 23-32.
105. Khouryieh H., Aramouni F. (2013). Effect of flaxseed flour incorporation on the physical properties and consumer acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 19(6), 549-556.
106. Koehler P., Wieser H. (2013). Chemistry of cereal grains. In: *Handbook on sourdough biotechnology*. Springer (Boston MA), 11-45.

107. Kolanowska A., Kozłowska-Wojciechowska M. (2006). Farmakoterapia otyłości lekami roślinnymi. *Kardioprofil*, 13, 230-235.
108. Kołodziejczyk P., Michniewicz J. (2018). Wartość żywieniowa oraz strawność i zdolność do fermentacji przy udziale mikroflory jelitowej człowieka *in vitro* wysokobłonnikowych produktów żywnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 25(4).
109. Kołota E., Orłowski M., Biesiada A. (2007). *Warzywnictwo*. Wydawnictwo UP. Wrocław, 405–422.
110. Kondratowicz J., Burczyk E. (2010). Technologiczne aspekty procesy liofilizacji. *Chłodnictwo: Organ Naczelnej Organizacji Technicznej*, 45(4), 54-59.
111. Konopacka D., Rutkowski K.P., Płocharski W.J. (2014). Owoce i warzywa jako składnik zdrowej diety człowieka. W: *Składniki bioaktywne surowców i produktów roślinnych*. Red.: Słupski J., Tarko T., Drożdż I., Oddział Małopolski Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności. Kraków, 46-57.
112. Kosiecka-Gębska M., Gębski M. (2012). Słone przekąski w diecie młodych konsumentów. *Bromatologia. Chemia. Toksykologia*, XLV, 3, 733-738.
113. Kowalska, H., Masiarz, E., Ignaczak, A., Marzec, A., Hać-Szymańczuk, E., Salamon, A., ... & Galus, S. (2022). Advances in Multigrain Snack Bar Technology and Consumer Expectations: A Review. *Food Reviews International*, 39:1, 93-118.
114. Kowalska H., Kowalska J., Ignaczak A., Masiarz E., Domian E., Galus S., Marzec A. (2021a). Development of a high-fibre multigrain bar technology with the addition of curly kale. *Molecules*, 26(13), 3939.
115. Kowalska J., Marzec A., Domian E., Galus S., Ciurzyńska A., Brzezińska R., Kowalska H. (2021b). Influence of tea brewing parameters on the antioxidant potential of infusions and extracts depending on the degree of processing of the leaves of camellia sinensis. *Molecules*, 26(16), 4773
116. Kowalska H., Marzec A., Domian E., Masiarz E., Ciurzyńska A., Kowalska J. (2020a). Physical and sensory properties of Japanese Quince chips obtained by osmotic dehydration in fruit juice concentrates and hybrid drying. *Molecules*, 25, 5504.
117. Kowalska H., Marzec A., Kowalska J., Trych U., Masiarz E., Lenart A. (2020b). The use of a hybrid drying method with pre-osmotic treatment in strawberry bio-snack technology. *International J Food Eng*, 16(1-2).
118. Kozak M. (2015). Ocena wybranych parametrów tekstury popularnych przekąsek owocowych i warzywnych. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 4, 17-20.
119. Kozłowska H., Troszyńska A. (1999). Rola naturalnych substancji nieodżywczych pochodzenia roślinnego jako składników żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(21), 63-73.
120. Ktenioudaki A., Gallagher E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends Food Science Technology*, 28(1), 4-14.
121. Kuchlewska M. (2019). Przegląd przekąsek mięsnych – Polska i świat. *Ogólnopolski Informator Masarski*, 291(11), 36-47.
122. Kuliś M., Miziołek D., Pytkowska R., Tylkowska-Siek A. (2022). Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2021 roku, GUS Zakład Wydawnictw Statystycznych https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5507/3/18/1/rolnictwo_w_2021_r.pdf(dostęp 11-01-2022).
123. Kunicka-Styczyńska A. (2016). Essential oils as an alternative to synthetic food preservatives - a review. *Innowacyjne Rozwiązania w Technologii Żywności i Żywieniu Człowieka*, 175-184.
124. Laca A., Mousia Z., Diaz M., Webb C., Pandiella S.S. (2006). Distribution of microbial contamination within cereal grains. *Journal of Food Engineering*, 72, 332-338.

125. Langston F.M., Nash G.R., Bows J.R. (2021). The retention and bioavailability of phytochemicals in the manufacturing of baked snacks. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 1-37.
126. Laricheva K., Mikhailova O. (2020). Development of scientifically-based recipe and technology for the production of natural honey-based muesli bar. *Environmental Earth Sciences*, 613(1), 012067.
127. Larrauri J.A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit byproducts. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 3–8.
128. Lazou A., Krokida M. (2010). Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 392-408.
129. Li Y.O., Komarek A.R. (2017). Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications. *Food quality and safety*, 1(1), 47-59.
130. Los A., Ziuzina D., Bourke P. (2018). Current and Future Technologies for Microbiological Decontamination of Cereal Grains. *Journal of Food Science*, 83(6), 1484-1493.
131. Makarewicz M., Drożdż I., Sobczak D., Satora P. (2018). Stabilność mikrobiologiczna niepasteryzowanych soków owocowych z dodatkiem produktów pszczelich. W: *Składniki bioaktywne surowców i produktów roślinnych*. Red.: Słupski J., Tarko T., Drożdż I., Oddział Małopolski Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności. Kraków, 238-252.
132. Masiarz E., Kowalska H., Bednarska M. (2019). Wykorzystanie wytlóków roślinnych jako źródła błonnika pokarmowego i innych bio-składników w kreowaniu właściwości prozdrowotnych, sensorycznych i technologicznych pieczywa. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 103-107.
133. McClements D.J. (2021). Food hydrocolloids: Application as functional ingredients to control lipid digestion and bioavailability. *Food Hydrocoll*, 111, 106404.
134. Meethal S.M., Kaur N., Singh J., Gat Y. (2017). Effect of addition of jackfruit seed flour on nutrimental, phytochemical and sensory properties of snack bar. *Current Nutrition and Food Science*, 5(2), 154-158.
135. Melati J., Lucchetta L., Prado N.V.D., Oliveira D.F.D., Tonial I.B. (2021). Physical and sensory characteristics of salty cereal bar with different binding agents. *Food Science and Technology*, 41, 1.
136. Mercier S., Mondor M., Villeneuve S., Marcos B., Moresoli C. (2014). Ocena ilościowa stabilności oksydacyjnej makaronu lasagne wzbogaconego nasionami lnu w zależności od warunków przetwarzania. 28 Międzynarodowa Konferencja EFFoST Uppsala (Szwecja), 25-28.11.2014.
137. Michalska A., Łysiak G. (2014). Usefulness for drying plum fruits cultivated in Poland in terms of the transformation of bioactive compounds and the formed products of the Maillard reaction. *Żywność.Nauka.Technologia.Jakość*, 6(97), 29–38.
138. Miedzianowska, J., Masłowski, M., Strzelec, K. (2019). Thermoplastic elastomer biocomposites filled with cereal straw fibers obtained with different processing methods—preparation and properties. *Polymers*, 11(4), 641.
139. Mieszkalska A., Praga W., Piotrowski D. (2018). Wpływ suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego truskawek na ich barwę mierzoną instrumentalnie. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, (2), 58-64.
140. Mirpoor S.F., Giosafatto C.V.L., Porta R. (2021). Biorefining of seed oil cakes as industrial co-streams for production of innovative bioplastics. A review. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 259-270.
141. Mojska H., Jasińska-Melon E., Ołtarzewski M., Szponar L. (2020). Tłuszcz. W: *Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie*. Red.: Jarosz M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska J. Wyd. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny.

142. Mottram D.S., Wedzicha B.L., Dodson A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419(6906), 448-9.
143. Mridula D., Singh K.K., Barnwal P. (2013). Development of omega-3 rich energy bar with flaxseed. *Journal of Food Science and Technology*, 50, 950-957.
144. Mussatto S.I., Dragone G., Roberto I.C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1-14.
145. Narwojsz A., Borowska J.E. (2011). Zmiany składników strukturotwórczych owoców porzeczki czarnej podczas maceracji miazgi a uwalnianie polifenoli do soku. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(74), 87-98.
146. Nawirska A., Kwaśniewska M. (2004). Frakcje błonnika w wyłokach z owoców. *Acta Scientiarum Polonorum Technica Agraria*, 3(1), 13-20.
147. Nayak B., Liu R.H., Tang J. (2015). Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains - a review. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 55(7), 887-918.
148. Nindo C.I., Tang J., Powers J.R., Singh P. (2005). Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. *Journal of Cereal Science*, 69, 343-350.
149. Nowak K., Żmudzińska-Żurek B. (2008). Błonnik - niezbędne włókno roślinne. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 7-8, 16-19.
150. Olędzki R., Hristova A. (2017). Składniki bioaktywne w produktach funkcjonalnych i ich rola w żywieniu człowieka. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 1(24).
151. Orrego C.E., Salgado N., Botero C.A. (2014). Developments and trends in fruit bar production and characterization. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 54(1), 84-97.
152. Pal D. (2011). Sunflower (*Helianthus annuus L.*) Seeds in Health and Nutrition. In: *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*, 1097-1105.
153. Pałacha Z., Makarewicz M. (2011). Aktywność wody wybranych grup produktów spożywczych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 24-29.
154. Pęksa A., Rytel E., Tajner-Czopek A., Kita A., Danilcenko H., Jarenie E., Figiel A., Lech K., Miedzianka J., Drożdż W. (2015). Wpływ surowca i parametrów procesu na cechy sensoryczne i fizyczne ekstrudowanych przekąsek. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3(100), 176-189.
155. Piątkowska E., Kopeć A., Kidacka A., Leszczyńska T., Pisulewska E. (2013). Content of nutrients and antioxidant properties of different grain fractions of selected oat cultivars and varieties. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 20(6), 91-105.
156. PN-EN ISO 12966-1:2015-01. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Chromatografia gazowa estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Część 1: Przewodnik do nowoczesnej chromatografii gazowej estrów metylowych kwasów tłuszczowych.
157. PN-EN ISO 12966-2:2017-05. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Chromatografia gazowa estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Część 2: Przygotowanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych.
158. PN-EN ISO 12966-4:2015-07. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Chromatografia gazowa estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Część 4: Oznaczanie techniką kapilarnej chromatografii gazowej.
159. PN-EN ISO 21528-2:2017-08. Mikrobiologia łańcucha żywnościowego. Horyzontalna metoda wykrywania i oznaczania liczby Enterobacteriaceae. Część 2: Metoda liczenia kolonii.
160. PN-EN ISO 4833-1:2013-12. Mikrobiologia łańcucha żywnościowego. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów. Część 1. Oznaczanie liczby metodą posiewu wgłębnego w temperaturze 30°C.

161. PN-EN ISO 6887-4:2017-05. Mikrobiologia łańcucha żywnościowego. Przygotowanie próbek do badań, zawiesiny wyjściowej i rozcieńczeń dziesięciokrotnych do badań mikrobiologicznych. Część 4. Specyficzne zasady przygotowania próbek produktów różnorodnych.
162. PN-EN ISO 6888-1:2022-03. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby gronkowców koagulazo-dodatnich (*Staphylococcus aureus* i innych gatunków). Część 1: Metoda z zastosowaniem pożywki agarowej Baird-Parkera.
163. PN-EN ISO 7932:2005. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby przypuszczalnych *Bacillus cereus*. Metoda liczenia kolonii w temperaturze 30°C.
164. PN-ISO 21527-2:2009. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drożdży i pleśni. Część 2. Metoda liczenia kolonii w produktach o aktywności wody niższej lub równej 0,95.
165. Przygoda B., Jarosz M., Sajór I. (2020). Węglowodany. W: Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie. Red.: Jarosz M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska J. Wyd. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny.
166. Rahman M.S., Al-Farsi S.A. (2005). Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. *Journal of Food Engineering*, 66(4), 505-511.
167. Rana V., Bachheti K.R., Chand T., Barmna A.(2011). Dietary fibre and human health. *International Journal of Food Safety, Nutrition and Public Health*, 4(2-4), 101-118.
168. Raport 1 (2020). DATA INTELO. Healthy Snacks Market By Types (Meat Snacks, Nuts, Seeds & Trail Mixes, Dried Fruit Snacks, Cereals & Granola Bars, And Others), Distribution Channels (Supermarket/Hypermarket, Specialty Stores, Online Retailers, And Convenience Stores), And Regions (Asia Pacific, North America, Latin America, Europe, And Middle East & Africa) – Global Industry Analysis, Growth, Share, Size, Trends, And Forecast 2021 – 2028. Polaris Market Research, <https://dataintel.com/report/healthy-snack-market>(dostęp 10-05-2022).
169. Raport 2(2021).DATA INTELO.Healthy Snacks Market Share, Size, Trends, Industry Analysis Report, By Product (Dried Fruit Snacks, Meat Snacks, Cereal and Granola Bars, Nuts and Seeds Snacks, Others), By Distribution Channel (Offline, Online), By Region, Segment Forecast, 2021 – 2028. Polaris Market Research, <https://www.researchandmarkets.com/reports/5397013/healthy-snacks-market-share-size-trends>(dostęp 10-05-2022).
170. Rifai L., Saleh F.A. (2020). A review on acrylamide in food: occurrence, toxicity, and mitigation strategies. *International Journal of Toxicology*, 39(2), 93-102.
171. Robertson J.A., I'Anson K.J., Treimo J., Faulds C.B., Brocklehurst T.F.,Eijsink V.G., Waldron K.W. (2010). Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 890-896.
172. Rocznik statystyczny rolnictwa. Główny Urząd Statystyczny. Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2015.
173. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 165/2010 z dnia 26 lutego 2010 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych w odniesieniu do aflatoksyn.
174. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych wraz z późniejszymi zmianami.
175. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 2158/2017 z dn. 20.11.2017 r. ustanawiające środki łagodzące i poziomy odniesienia służące ograniczeniu obecności akryloamidu w żywności.
176. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności (Dz.U.L. 304 z 22.11.2011).

177. Rybicka I., Gliszczynska-Swiglo A. (2014). Ocena zawartości witamin z grupy B w owsianych produktach bezglutenowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 576, 111–119.
178. Rychlik E., Jarosz M., Cichocka A., Białkowska M. (2020). *Energia. W: Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie*. Red.: Jarosz M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska J. Wyd. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny.
179. Saleh A.S., Wang P., Wang N., Yang S., Xiao Z. (2019). Technologies for enhancement of bioactive components and potential health benefits of cereal and cereal-based foods: Research advances and application challenges. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 59(2), 207-227.
180. Sangnark A., Noomhorm A. (2004). Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food Research International*, 37(1), 66-74.
181. Santos M., Jiménez J.J., Bartolomé B., Gómez-Cordovés C., Del Nozal M.J. (2003). Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, 80(1), 17-21.
182. Shadbolt C., Ross T., McMeekin T.A. (2003). Differentiation of the effects of lethal pH and water activity: food safety implications. *Letters in Applied Microbiology*, 32(2), 99-102.
183. Shahidi F., Pan Y. (2021). Influence of food matrix and food processing on the chemical interaction and bioaccessibility of dietary phytochemicals: A review. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 1-25.
184. Showkat S., Dar A.H., Khan S., Gani M. (2018). Effect of mung bean and rice on physico-chemical, sensory and microstructural properties of cereal bars. *Carpathian Journal Food of Science and Technology*, 10(4), 70-78.
185. Silva B.M., Andrade P.B., Valentão P., Ferreres F., Seabra R.M., Ferreira M.A. (2004). Quince (*Cydonia oblonga Miller*) fruit (pulp, peel. and seed) and jam: antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 4405–4712.
186. Silva S.B.D., Formigoni M.A., Zorzenon M.R., Milani P.G., Dacome A.S.Seixas F.A.V., Costa S.C.D. (2020). Development of diet cereal bar sweetened with stevia leaves pre-treated with ethanol. *Food Science and Technology*, 40(4), 894-901.
187. Singh K.K., Mridula D., Rehal J., Barnwal P. (2011). Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(3), 210-222.
188. Singh S., Galkwad K., Omre P.K., Kumbhar B.K. (2013). Microwave Convection drying characteristics of beet root (*Beta Vulgaris L.*) using modeling equations for drying. *Journal of Food Processing & Technology*, 4(9), 2-5.
189. Sitkiewicz I., Kalinowska R., Kamiński B. (2008). Właściwości reologiczne klarownych soków: aroniowego i jabłkowego. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, (2), 17-21.
190. Stadler R.H., Blank I., Varga N., Robert F., Hau J., Guy P.A., Robert M.C., Riediker S. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419(6906), 449-50.
191. Stankiewicz J., Wieczorkiewicz B. (2017). Zawartość witaminy C w sokach jednodniowych dostępnych w handlu i uzyskanych w sposób domowy. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 99, 62–70.
192. Subiria-Cueto R., Coria-Oliveros A.J., Wall-Medrano A., Rodrigo-García J., González-Aguilar G.A., Martinez-Ruiz N.D.R., Alvarez-Parrilla E. (2021). Antioxidant dietary fiber-based bakery products: a new alternative for using plant-by-products. *Food Science and Technology*, 1-16.
193. Sung Y.Y., Kim S.H., Kim D.S., Park S.H., Yoo B.W., Kim H.K. (2014). Nutritional composition and anti-obesity effects of cereal bar containing *Allium fistulosum* (welsh onion) extract. *Journal of Functional Foods*, 6, 428-437.
194. Sun-Waterhouse D., Teoh A., Massarotto C., Wibisono R., Wadhwa S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry*, 119(4), 1369-1379.

195. Szarycz M., Jałoszyński K., Pełka A., Ostrowska M., Świerk B. (2006). Wpływ parametrów mikrofalowo-próżniowego suszenia truskawek na przebieg procesu i skurcz suszarniczy. *Inżynieria Rolnicza*, 4, 229-236.
196. Szwedziak K., Polańczyk E., Dąbrowska-Molenda M., Kamińska A. (2017). Technologia i tłoczenie soków owocowych w kontekście oceny jakości. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 71-76.
197. Szymański F.M., Bomba-Opoń D.A., Łęgosz P., Głogowska-Szeląg J., Baran W., Szepietowski J.C., Kozłowska-Wojciechowska M. (2015). Miejsce witaminy D w codziennej praktyce klinicznej - interdyscyplinarne stanowisko ekspertów. *Forum Medycyny Rodzinnej*, 9(6), 423-434.
198. Tareke E., Heinze T.M., Gamboa da Costa G., Ali S. (2009). Acrylamide formed at physiological temperature as a result of asparagine oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(20), 9730-9733.
199. Tassoni A., Tedeschi T., Zurlini C., Cigognini I.M., Petrusan J.I., Rodríguez Ó., Corvini P.F. (2020). State-of-the-art production chains for peas, beans and chickpeas - valorization of agro-industrial residues and applications of derived extracts. *Molecules*, 25(6), 1383.
200. Therdthai F.N., Zhou W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia Opiz ex Fresen*). *Journal of Food Engineering*, 91, 482-489.
201. Tian Y., Sun L., Yang Y., Gou X., Niu P., Guo Y. (2018). Changes in the physicochemical properties, aromas and polyphenols of not from concentrate (NFC) apple juice during production. *Journal of Food*, 16(1), 755-764.
202. Timm T.G., de Lima G.G., Matos M., Magalhães W.L.E., Tavares L.B.B., Helm C.V. (2020). Nanosuspension of pinhão seed coat development for a new high-functional cereal bar. *Journal of Food Process Engineering and Preservation*, 44(6), E14464.
203. Timmermann E.O., Chirife J., Iglesias H.A. (2001). Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters?. *Journal of Food Engineering*, 48(1), 19-31.
204. Trojanowicz P. (2015). Dynamiczny rozwój rynku soków NFC w Polsce. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 59, 07-08 (dodatek specjalny).
205. Waghmare R., Moses J.A., Anandharamakrishnan C. (2021). Mucilages: Sources, extraction methods, and characteristics for their use as encapsulation agents. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 1-22.
206. Walkowiak M., Spasibionek S., Krótka K. (2022). Variation and genetic analysis of fatty acid composition in flax (*Linum usitatissimum L.*). *Euphytica*, 218(1), 1-12.
207. Walkowiak-Tomczak D. (2007). The effect of freezing process on quality of restructured strawberries. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 14(2), 126-133.
208. WHO (2018). Replace Trans Fat. An action package to eliminate industrially-produced trans-fatty acids. WHO/NMH/NHD/18.4.
209. Wianecki M. (2007). Technologia ekstrudowanych produktów zbożowych z dodatkiem białek zwierzęcych i roślinnych. Akademia Rolnicza w Szczecinie. Rozprawy.
210. Williamson G., Kay C.D., Crozier A. (2018). The bioavailability, transport, and bioactivity of dietary flavonoids: A review from a historical perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1054-1112.
211. Winther K., Vinther Hansen A.S., Campbell-Tofte J. (2016). Bioactive ingredients of rose hips (*Rosa canina L*) with special reference to antioxidative and anti-inflammatory properties: in vitro studies. *Botanics: Targets and Therapy*, 6, 11-23.
212. Wojciechowicz A., Gil Z. (2009). Jakość pieczywa pszennego z udziałem błonnika pokarmowego różnego pochodzenia. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6 (67), 102-111.

213. Wojdyło A., Teleszko M., Oszmiański J. (2014). Antioxidant property and storage stability of quince juice phenolic compounds. *Food Chemistry*, 152, 261-270.
214. Wojtasik A., Pietraś E., Kunachowicz H. (2020). *Tłuszcz. W: Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie*. Red.: Jarosz M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska J. Wyd. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny.
215. Wójtowicz A. (2018). Ekstruzja-wybrane aspekty techniczne i technologiczne. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 595, 131-144.
216. Xue B., Hui X., Chen X., Luo S., Dilrukshi H., Wu G., Chen Ch. (2022). Application, emerging, health benefits and Osage effects of blackcurrant food formats. *Journal of Functional Foods*, 95(1), 105147.
217. Yadav L., Bhatnagar U. (2015). Optimization of ingredients in cereal bar. *Food Science and Technology Research*, 6, 273-278.
218. Yangilar F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1(3), 13-23.
219. Zalewska M., Otreszko-Arski A., Zalewski M. (2016). Wpływ suszenia konwekcyjnego i liofilizacji na barwę wybranych owoców. *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, 3, 141-145.
220. Zamłyńska A., Przybylska A. (2015). Sposoby ulepszania jakości wyrobów ciastkarskich dodatkami prozdrowotnymi. *Zagadnienia aktualnie poruszane przez młodych naukowców*. Tom 4, https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Awad-Talb-Altalb-2/publication/337318315_Zagadnienia_4_1/links/5dd1b6704585156b351bbc93/Zagadnienia-4-1.pdf#page=100(dostęp 10-11-2021).
221. Zdrojewicz Z., Idzior A., Kocjan O. (2015). Spirulina i błonnik witalny a leczenie otyłości. *Medycyna Rodzinna*, 1, 18-22.
222. Zegartowska P., Korus A., Skoczeń-Słupska R. (2018). Wartość odżywcza i prozdrowotna wyłoków z owoców i warzyw. W: *Składniki bioaktywne surowców i produktów roślinnych*. Red.: Słupski, J., Tarko, T., Drożdż, I., Oddział Małopolski Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności. Kraków, 79-89.
223. Ziarno M., Zaręba D. (2016). Dodatki do żywności: Błonnik jako potencjalny składnik produktów mleczarskich. *Forum Mleczarskie Biznes*, 1(23).
224. Zielińska M., Sadowski P., Błaszczak W. (2016). Combined hot air convective drying and microwave vacuum drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum L.*): Drying kinetics and quality characteristics. *Drying Technology*, 34(6), 665-684.
225. Žilić, S., Dodig, D., Basić, Z., Vančetović, J., Titan, P., Đurić, N., & Tolimir, N. (2017). Free asparagine and sugars profile of cereal species: the potential of cereals for acrylamide formation in foods. *Food additives & contaminants: part A*, 34(5), 705-713.
226. Zołoteńka-Synowiec M., Całyniuk B., Malczyk E.M.M., Maćków J. (2013). Wiedza żywieniowa dotycząca błonnika pokarmowego wybranej grupy dorosłych osób. *Piel. Zdr. Publ*, 3, 233-240.
227. Żbikowska A., Kowalska M., Zbikowska K., Onacik-Gür S., Łempicka U., Turek P. (2022). Study on the incorporation of oat and yeast β -Glucan into shortbread biscuits as a basis for designing healthier and high quality food products. *Molecules*, 27(4), 1393.

7. Aneks



Rysunek 36. Zdjęcie umieszczonych w foremce metalowej mas batonowych zawierających błonnik Psyllium i soki NFC (przed wypiekiem) wraz ze stosowanymi sokami firmy Oleofarm w oryginalnych opakowaniach



Rysunek 37. Zdjęcie gotowych batonów po wypieku w piecu z Rysunku 1



Rysunek 38. Zdjęcie umieszczonych w foremce silikonowej mas batonowych (przed wypiekiem zawierających wodę i błonniki (lewa kolumna od góry: jabłkowy z kakaowym, kakaowy; prawa kolumna od góry: Psyllium, jabłkowy, jabłkowy z Psyllium)



Rysunek 39. Zdjęcie batonów po wypieku w piecu zawierających różne błonniki (foremki w górnym rzędzie od lewej: błonnik porzeczkowy, jabłkowy z kakaowym, jabłkowy z Psyllium; w dolnym rzędzie: błonnik Psyllium) i soki NFC (w każdej foremce od góry: pigwa, róża, porzeczka)



Rysunek 40. Zdjęcia wypieczonych batonów zawierających wodę i różne błonniki, wraz z batonem kontrolnym



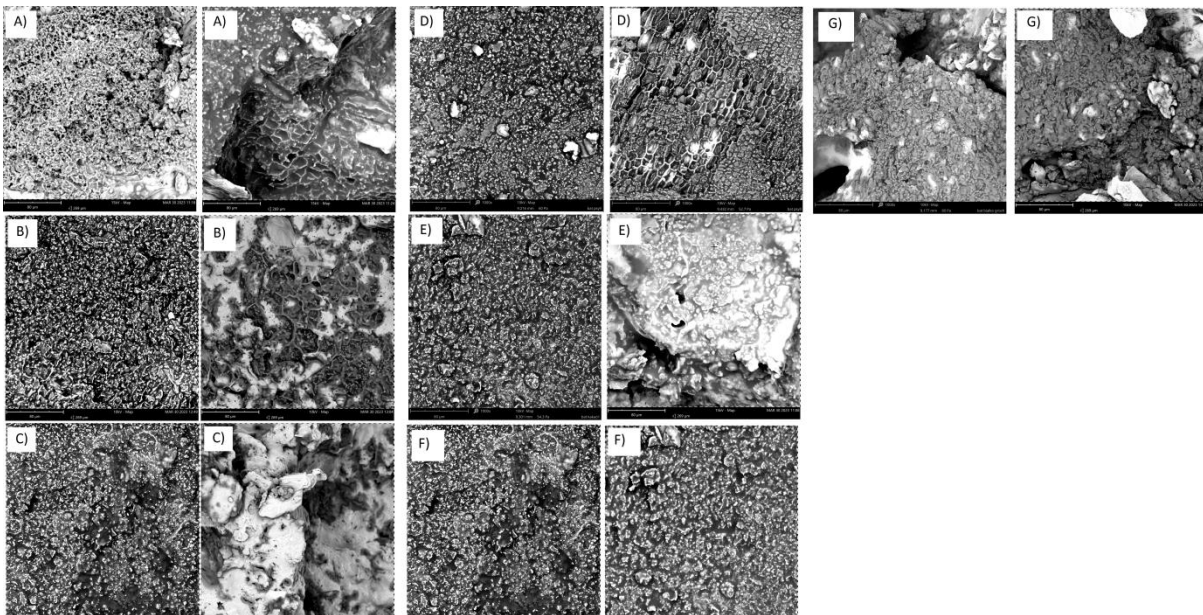
Rysunek 41. Zdjęcia wypieczonych batonów bez błonnika, zawierających różne soki NFC, wraz z batonem kontrolnym



Rysunek 42. Zdjęcia wypieczonych batonów zawierających wodę, bez błonnika, z dodatkiem wyłoków jabłkowych.



Rysunek 43. Zdjęcie porównawcze wypieczonego batonu kontrolnego oraz batonu z dodatkiem białka grochowego.



Rysunek 44. Obrazy struktury batonów wieloziarnistych z błonnikami: A) kontrolny, B) jabłkowy z Psyllium, C) jabłkowy, D) Psyllium, E) jabłkowy z kakaowym, F) kakaowy, G) z białkiem grochowym. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu SEM przy różnych powiększeniach.



Kakaowy



Jabł+Kakao



Jabłkowy



Jabł+Psyll



Psyll



Rysunek 45. Zdjęcia próbek uzyskanych metodą suszenia mikrofalowo-próżniowego (*puffing*).

Tabela 21. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości parametrów tekstury TPA (twardość, sprężystość, kohezyjność, gumiaistość, żujność) mas batonowych dla analizy wpływu dodatku błonnika przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

2,52E-09	Twardość [N]	a	b	c	d
Kontrol	1,461795			****	
Jabł+Kakao	1,806063				****
Porzeczkowy	2,560403	****			
Jabł+Psyll	2,761578	****	****		
Psyll (Bazowy)	2,806118		****		

1,82E-03	Sprężystość	a	b	c
Kontrol	0,890242	****		
Porzeczkowy	0,937526	****	****	
Jabł+Kakao	0,961681	****	****	****
Psyll (Bazowy)	0,999398		****	****
Jabł+Psyll	1,017200			****

1,13E-06	Kohezyjność	a	b	c
Kontrol	0,606519			****
Jabł+Psyll	0,690261	****		
Jabł+Kakao	0,728289	****		
Psyll (Bazowy)	0,812191		****	
Porzeczkowy	0,838596		****	

1,75E-10	Gumiastość [N]	a	b	c	d	e
Kontrol	0,896189	****				
Jabł+Kakao	1,310586		****			
Jabł+Psyll	1,844984			****		
Porzeczkowy	2,137673				****	
Psyll (Bazowy)	2,321696					****

4,07E-11	Żujność [N]	a	b	c	d
Kontrol	0,818293		****		
Jabł+Kakao	1,259928			****	
Jabł+Psyll	1,843787				****
Porzeczkowy	2,067709	****			
Psyll (Bazowy)	2,160354	****			

Tabela 22. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości: aktywności wody, zawartości wody batonów wielozłarnistych dla analizy wpływu dodatku błonników przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

2,17E-12	Aw	a	b	c	d
Porzeczkowy	0,773501				****
Kakaowy	0,814983		****		
Jabłkowy	0,824109		****	****	
Kontrol	0,834456			****	
Jabł+Psyll	0,863092	****			
Psyll (Bazowy)	0,863286	****			
Jabł+Kakao	0,868070	****			

2,89E-11	Zw [%]	a	b	c	d	e
Kontrol	24,0674496					****
Psyll (Bazowy)	19,44525749				****	
Jabłkowy	18,58066994			****	****	
Kakaowy	15,36029794		****			
Jabł+Kakao	17,64107306			****		
Jabł+Psyll	12,58368093	****				
Porzeczkowy	14,31070492	****	****			

Tabela 23. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości parametrów TPA: twardości, pracy ściskania, sprężystości, kohezji, gumistości i żużności batonów wielozłarnistych dla analizy wpływu dodatku błonników przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

6,58E-11	Twardość [N]	a	b	c	d
Kontrol	56,24321	****			
Psyll (Bazowy)	74,00554		****		
Jabłkowy	80,10857		****		
Kakaowy	96,70308			****	
Jabł+Kakao	56,24207	****			
Jabł+Psyll	94,14211			****	
Porzeczkowy	64,94616				****

2,22E-15	Praca ściskania [mJ]	a	b	c	d	e
Kontrol	237,3326	****				
Psyll (Bazowy)	272,5203		****			
Jabłkowy	334,8830			****		
Kakaowy	435,7575					****
Jabł+Kakao	225,0027	****				
Jabł+Psyll	359,7375				****	
Porzeczkowy	278,4516		****			

8,89E-04	Sprężystość	a	b
Kontrol	0,37	****	
Psyll (Bazowy)	0,80		****
Jabłkowy	0,47	****	****
Kakaowy	0,46	****	
Jabł+Kakao	0,35	****	
Jabł+Psyll	0,48	****	
Porzeczkowy	0,37	****	

9,07E-04	Kohezyjność	a	b
Kontrol	0,21	****	
Psyll (Bazowy)	0,46		****
Jabłkowy	0,27	****	****
Kakaowy	0,25	****	****
Jabł+Kakao	0,22	****	
Jabł+Psyll	0,35		****
Porzeczkowy	0,20	****	

2,87E-03	Gumiastość [N]	a	b	c
Kontrol	11,0	****	****	
Psyll (Bazowy)	34,7			****
Jabłkowy	21,7	****	****	****
Kakaowy	24,2	****	****	****
Jabł+Kakao	10,6	****		
Jabł+Psyll	22,3		****	****
Porzeczkowy	12,3	****	****	

1,75E-04	Żujność [N]	a	b	c
Kontrol	4,1	****	****	
Psyll (Bazowy)	27,8			****
Jabłkowy	10,2	****	****	
Kakaowy	11,0	****	****	
Jabł+Kakao	3,8	****		
Jabł+Psyll	11,4		****	
Porzeczkowy	4,7	****	****	

Tabela 24. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości parametrów barwy (L^* , a^* , b^* , C , h°) batonów wielozłaznistych dla analizy wpływu dodatku błonnika przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p .

1,29E-11	L^*	a	b	c	d
Kakaowy	35,80667			****	
Jabł+Kakao	38,88667				****
Porzeczkowy	41,46333		****		
Kontrol	43,30333		****		
Jabłkowy	47,18333	****			
Jabł+Psyll	48,19000	****			
Psyll (Bazowy)	48,32667	****			

2,16E-12	a^*	a	b	c	d
Porzeczkowy	4,443333	****			
Psyll (Bazowy)	4,470000	****			
Jabł+Psyll	4,786667	****			
Jabłkowy	5,653333			****	
Kakaowy	6,886667				****
Jabł+Kakao	7,800000		****		
Kontrol	8,166667		****		

3,53E-10	b^*	a	b	c	d	e
Porzeczkowy	8,04000				****	
Kakaowy	9,94667					****
Jabł+Kakao	12,73333	****				
Psyll (Bazowy)	12,80333	****				
Jabł+Psyll	13,95667	****	****			
Kontrol	14,42333		****	****		
Jabłkowy	15,53333			****		

1,22E-08	C	a	b	c	d	e
Porzeczkowy	9,46333				****	
Kakaowy	12,72000			****		
Psyll (Bazowy)	13,45667	****		****		
Jabł+Kakao	14,59000	****	****			
Jabł+Psyll	14,59333	****	****			
Jabłkowy	15,68333		****			
Kontrol	17,61000					****

1,31E-10	h°	a	b	c	d	e
Kakaowy	54,46667			****		
Jabł+Kakao	57,60000				****	
Kontrol	61,03333		****			
Porzeczkowy	61,13333		****			
Jabł+Psyll	66,03333					****
Psyll (Bazowy)	69,06667	****				
Jabłkowy	70,06667	****				

Tabela 25. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości różnicy barw ΔE batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu preparatu błonnikowego przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

1,02E-05	ΔE	a	b	c
Psyll (Bazowy)	6,69	****		
Jabłkowy	3,73			****
Kakaowy	9,08		****	
Jabł+Kakao	7,41	****	****	
Jabł+Psyll	4,56			****
Porzeczkowy	7,60	****	****	

Tabela 26. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości pH batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu dodatku soków NFC i obróbki termicznej przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

2,22E-16	pH	a	b	c
Róża	5,48	****		
Porzeczkowa	4,96		****	
Pigwa	5,54	****		
Woda	6,36			****

Tabela 27. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości parametrów barwy batonów wieloziarnistych (L^* , a^* , b^* , C , h°) dla analizy wpływu dodatku soków NFC przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

1,16E-06	L^*	a	b	c
Róża	44,55973	****		
Porzeczkowa	38,36770		****	
Pigwa	47,01234			****
Woda	43,81702	****		

2,65E-11	a^*	a	b	c	d
Róża	10,54945				****
Porzeczkowa	3,99467	****			
Pigwa	6,57844		****		
Woda	8,21512			****	

1,55E-09	b*	a	b	c
Róża	14,85774	****		
Porzeczka	5,23626		****	
Pigwa	16,61222			****
Woda	14,19535	****		

8,55E-11	C	a	b
Róża	17,91222	****	
Porzeczka	6,05642		****
Pigwa	17,71796	****	
Woda	17,74292	****	

7,06E-06	h°	a	b	c	d
Róża	55,27723		****		
Porzeczka	49,46758	****			
Pigwa	68,09347				****
Woda	60,70818			****	

Tabela 28. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości różnicy barw ΔE batonów wielozłaznistych dla analizy wpływu składnika wiążącego przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

5,15E-10	ΔE	a	b	c
Pigwa	2,67	****		
Róża	4,38		****	
Porzeczka	11,31			****

Tabela 29. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości twardości batonów wielozłaznistych dla analizy wpływu składnika wiążącego przy $p \leq 0,05$ dla obu stosowanych metod obróbki cieplnej. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

3,44E-02	Twardość [N]	a	b
Róża (Piec)	47,77175	****	
Porzeczka (Piec)	53,56975	****	****
Pigwa (Piec)	59,33790	****	****
Woda (Piec)	74,12243		****
2,84E-02	Twardość [N]	a	b
Róża (MK)	59,82234	****	
Porzeczka (MK)	65,03132	****	****
Pigwa (MK)	68,51019	****	****
Woda (MK)	84,20688		****

Tabela 30. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości parametrów TPA: twardości, pracy ściskania, kohezji, gumistości i żujności batonów wielozłaznistych dla analizy substancji wiążącej przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

1,22E-15	Twardość [N]	a	b
Piec	62,0669	****	
MK	109,4662		****

4,44E-13	Praca ściskania [mJ]	a	b
Piec	225,0447	****	
MK	442,9239		****

3,44E-06	Kohezja	a	b
MK	0,298894		****
Piec	0,374334	****	

6,23E-06	Gumistość [N]	a	b
Piec	22,78524	****	
MK	32,35638		****

1,26E-03	Żujność [N]	a	b
Piec	11,65683	****	
MK	17,00765		****

Tabela 31. Podział na grupy jednorodne na podstawie zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej batonów wielozłaznistych dla analizy wpływu substancji wiążącej przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

9,04E-06	Zawartość polifenoli ogółem [mg kw.GAE/100g s.s.]	a	b	c
Psyllium (Bazowy)	334,6025		****	
Róża	381,3527	****		
Porzeczka	435,3878			****
Pigwa	374,7120	****		
Woda	333,2467		****	

3,48E-08	Aktywność przeciwutleniająca [μM Troloxu/100g s.s.]	a	b
Psyllium (Bazowy)	23,06122	****	
Róża	36,20082		****
Porzeczka	36,46151		****
Pigwa	35,39199		****
Woda	23,26902	****	

Tabela 32 . Podział na grupy jednorodne na podstawie zawartości kwasów tłuszczowych batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu metody produkcji przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

8,14E-03	kw. palmitynowy [%]	a	b
Piec	7,455000	****	
MK	8,030000		****

3,16E-02	kw. stearynowy [%]	a	b
Piec	4,525000	****	
MK	4,685000		****

7,48E-03	kw. oleinowy [%]	a	b
Piec	33,22500	****	
MK	34,73000		****

2,31E-03	kw. linolowy [%]	a	b
Piec	35,73500	****	
MK	37,28000		****

4,80E-05	kw. γ-linolenowy [%]	a	b
MK	12,25500	****	
Piec	15,22000		****

7,26E-02	kw. behenowy [%]	a
MK	1,245000	****
Piec	1,580000	****

Tabela 33. Podział na grupy jednorodne na podstawie zawartości kwasów tłuszczowych batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu dodatku soku NFC przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

1,38E-01	kw. palmitynowy	a
Pigwa	8,035000	****
Róża	8,180000	****

3,22E-02	kw. stearynowy	a	b
Pigwa	4,675000	****	
Róża	4,985000		****

4,52E-04	kw. oleinowy	a	b
Róża	33,03500	****	
Pigwa	34,21000		****

5,47E-04	kw. linolowy	a	b
Róża	37,05500	****	
Pigwa	38,14500		****

1,62E-04	kw. γ-linolenowy	a	b
Pigwa	11,01000	****	
Róża	13,52500		****

3,86E-04	kw. behenowy	a	b
Róża	1,255000	****	
Pigwa	1,615000		****

Tabela 34. Podział na grupy jednorodne na podstawie zawartości kwasów tłuszczowych batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu dodatku błonników przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

2,34E-02	kw. palmitynowy	a	b
Jabł+Psyll	7,805000		****
Porzeczka	8,020000	****	
Jabł+Kakao	8,035000	****	

1,07E-01	kw. stearynowy	a
Jabł+Kakao	4,675000	****
Jabł+Psyll	4,705000	****
Porzeczka	4,825000	****

9,40E-05	kw. oleinowy	a	b	c
Jabł+Psyll	31,31500	****		
Porzeczka	33,62000		****	
Jabł+Kakao	34,21000			****

1,95E-04	kw. linolowy	a	b	c
Porzeczka	37,43500	****		
Jabł+Kakao	38,14500		****	
Jabł+Psyll	39,14000			****

7,80E-05	kw. γ-linolenowy	a	b	c
Jabł+Kakao	11,01000	****		
Porzeczka	12,35000		****	
Jabł+Psyll	13,68000			****

1,22E-01	kw. behenowy	a
Porzeczka	1,460000	****
Jabł+Psyll	1,460000	****
Jabł+Kakao	1,615000	****

Tabela 35. Podział na grupy jednorodne na podstawie zawartości akrylamidu batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu metody produkcji oraz składnika wiążącego przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

2,82E-01	Zawartość akrylamidu [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	a	b
MK	13,62850	****	
Piec	33,47214		****

1,71E-10	Zawartość akrylamidu [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	a	b	c	d
Pigwa (PIEC)	19,27910	****			
Porzeczka (PIEC)	22,63243		****		
Róża (PIEC)	33,01156			****	
Woda (PIEC)	57,00107				****
1,04E-04	Zawartość akrylamidu [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	a	b	c	
Pigwa (MK)	16,39355		****		
Porzeczka (MK)	14,63195	****			
Róża (MK)	13,20457	****			
Woda (MK)	8,85106			****	

Tabela 36. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości: aktywności wody, zawartości wody, zawartości polifenoli, aktywności przeciwutleniającej batonów oraz parametrów barwy a*, b* oraz C batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu dodatku wyłoków jabłkowych (w ilości 2%, 6% i 12%) przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

8,22E-05	A _w	a	b	c
0	0,839228	****		
2	0,844422	****	****	
6	0,850332		****	
12	0,876233			****

4,42E-05	Z _w [%]	a	b
0	19,45049	****	
12	25,87424		****
2	22,89123		****
6	23,46107		****

2,80E-05	Zawartość polifenoli ogółem [mg kw.GAE/100g s.s.]	a	b	c
12	249,5223	****		
6	264,4712	****	****	
2	286,6823		****	
0	334,6025			****

5,61E-12	Aktywność przeciwutleniająca [µM Troloxu/100g s.s.]	a	b	c
0	23,0612			****
12	86,1622	****		
6	87,5244	****	****	
2	90,7643		****	

1,88E-07	a*	a	b	c
0	4,250594		****	
6	7,443346			****
2	9,110367	****		
12	9,204410	****		

1,02E-07	b*	a	b	c
0	12,64107		****	
6	19,42412			****
12	22,20144	****		
2	21,55441	****		

2,58E-07	C	a	b
0	13,34206		****
2	23,20434	****	
12	23,10150	****	
6	24,33297	****	

Tabela 37. Podział na grupy jednorodne na podstawie procentowej zawartości: tłuszczu, błonnika ogółem, frakcji nierozpuszczalnej błonnika, frakcji rozpuszczalnej błonnika oraz popiołu w batonach wieloziarnistych dla analizy wpływu dodatku wytlóków jabłkowych (w ilości 2%, 6% i 12%) przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

1,23E-05	Zawartość tłuszczu [%]	a	b	c
12	21,92265		****	
2	24,77101	****		
6	23,59422	****		
0	26,62239			****

7,00E-04	Błonnik ogółem [%]	a	b
0	9,36088		****
2	9,96332	****	
6	9,98923	****	
12	10,46877	****	

5,40E-05	Błonnik fr. nierozpuszczalna [%]	a	b
6	6,341266	****	
12	6,368955	****	
2	6,681011	****	
0	7,664421		****

2,76E-05	Błonnik fr. rozpuszczalna [%]	a	b
0	1,717502	****	
2	3,283298		****
6	3,669222		****
12	4,081288		****

2,38E-04	Zawartość popiołu [%]	a	b	c
12	2,603298		****	
6	2,791554	****		
2	2,862055	****		
0	3,049655			****

Tabela 38. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości ubytku masy podczas pieczenia oraz suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu dodatku błonników, wyłoków jabłkowych (2%, 6%, 12%) oraz białka grochowego, a także różnych substancji wiążących przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

Tabela 38. Podział na grupy jednorodne na podstawie wartości ubytku masy podczas pieczenia oraz suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego batonów wieloziarnistych dla analizy wpływu dodatku błonników, wyłoków jabłkowych (2%, 6%, 12%), a także różnych substancji wiążących przy $p \leq 0,05$. Czerwony kolorem przedstawiono wartości prawdopodobieństwa testowego p.

5,96E-11	Ubytek masy [%]	a	b	c	d
Kakaowy (Piec)	11,21620		****		
Jabł+Kakao (Piec)	12,23531	****	****		
Jabłkowy (Piec)	12,50672	****			
Jabł+Psyll (Piec)	12,52834	****			
Psyll (Bazowy)	13,46543	****			
Porzeczkowy (Piec)	15,94374			****	
Kontrol (Piec)	20,03268				****
2,53E-11	Ubytek masy [%]	a	b	c	d
Kakaowy (MK)	12,12518		****		
Jabł+Kakao (MK)	13,04275	****	****		
Jabł+Psyll (MK)	13,69075	****			

Jabłkowy (MK)	13,88827	****			
Psyll (Bazowy) (MK)	14,41709	****			
Porzeczkowy (MK)	16,80451			****	
Kontrol (MK)	21,57346				****

3,14E-07	Ubytek masy [%]	a	b	c
Wytłoki 2% (Piec)	12,50242	****		
Wytłoki 6% (Piec)	13,78776	****		
Wytłoki 12% (Piec)	16,29357		****	
Kontrol (Piec)	20,02905			****
2,68E-04	Ubytek masy [%]	a	b	c
Wytłoki 6% (MK)	14,87785	****		
Wytłoki 2% (MK)	14,54477	****		
Wytłoki 12% (MK)	17,73973		****	
Kontrol (MK)	21,60016			****

3,28E-06	Ubytek masy [%]	a	b	c	
Porzeczkowa (Piec)	12,51218		****		
Pigwa (Piec)	15,04094	****			
Róża (Piec)	16,26281	****			
Kontrol (Piec)	20,00855			****	
7,97E-07	Ubytek masy [%]	a	b	c	d
Porzeczkowa (MK)	13,11367	****			
Pigwa (MK)	16,17948		****		
Róża (MK)	17,88817			****	
Kontrol (MK)	21,78774				****

Wyrażam zgodę na udostępnienie mojej pracy w czytelniach Biblioteki SGGW
w tym w Archiwum Prac Dyplomowych SGGW

.....
(czytelny podpis autora pracy)