



UNIWERSYTET RZESZOWSKI
Kolegium Nauk Przyrodniczych

Zuzanna Maria Posadzka

**Wykorzystanie dodatków funkcjonalnych na bazie buraka ćwikłowego
w technologii wypieku chleba o podwyższonej wartości prozdrowotnej**

Praca doktorska wykonana w Zakładzie Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Instytutu Technologii Żywności i Żywienia, Uniwersytetu Rzeszowskiego pod kierunkiem dr hab. Ireneusza Kapusty, prof. UR i dr inż. Joanny Kaszuby

Dziedzina: nauki rolnicze

Dyscyplina: technologia żywności i żywienia

Rzeszów, 2023

„Nie lękaj się!

Wyplń na głębię – Jest przy Tobie Chrystus”

św. Jan Paweł II, Lednica 2001

*Tę pracę dedykuję Mamie, Tacie i Bratu
ze szczególnymi podziękowaniami
oraz za uświadomienie mi, że
nawet najtrudniejsze szczyty są możliwe do zdobycia*

Najserdeczniejsze podziękowania składam

promotorom pracy

dr hab. Ireneuszowi Kapuście, prof. UR

i

dr inż. Joannie Kaszubie

za nieocenioną pomoc, opiekę naukową, cenne wskazówki

i wielkie wsparcie

podczas powstawania niniejszej rozprawy doktorskiej.

Pragnę także szczególnie podziękować wszystkim pracownikom

Zakładu Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka

na czele z Panią prof. dr hab. inż. Grażyną Jaworską

za udostępnienie niezbędnej aparatury badawczej oraz

pomoc, życzliwość i wsparcie,

które okazywali mi podczas powstawania niniejszej pracy.

Podziękować pragnę także recenzentom pracy

za trud włożony w przygotowanie recenzji niniejszej rozprawy doktorskiej.

Spis treści:

1.	Wstęp.....	7
1.1.	Historia pieczywa	7
1.2.	Znaczenie pieczywa w żywieniu człowieka	7
1.3.	Klasyfikacja pieczywa w Polsce	9
1.4.	Technologia produkcji pieczywa.....	11
1.4.1.	Podstawowe surowce piekarskie	11
1.4.2.	Wytwarzanie ciasta chlebowego.....	21
1.4.3.	Wypiek chleba	25
1.5.	Potencjał pieczywa w produkcji żywności funkcjonalnej.....	27
1.5.1.	Surowce niekonwencjonalne w produkcji pieczywa	29
1.5.2.	Wzbogacanie pieczywa i jego rola w żywieniu człowieka	31
2.	Hipotezy badawcze.....	38
3.	Cel i zakres pracy	39
4.	Material i metody badawcze.....	40
4.1.	Material do badań	40
4.1.1.	Chleby.....	40
4.1.2.	Mąka.....	41
4.1.3.	Dodatki wzbogacające na bazie korzenia buraka ćwikłowego.....	41
4.2.	Metody badawcze	42
4.2.1.	Analiza fizykochemiczna mąki.....	42
4.2.2.	Analizy właściwości ciasta	47
4.2.3.	Ocena parametrów procesu wypiekowego chleba.....	52
4.2.4.	Ocena jakości pieczywa z próbnego wypieku	53
4.2.5.	Ocena organoleptyczna i konsumencka pieczywa z próbnego wypieku	55
4.2.6.	Ocena wartości odżywczej pieczywa z próbnego wypieku	56
4.2.7.	Ocena wartości prozdrowotnej surowców i wyrobów gotowych	57
4.2.8.	Analiza statystyczna	60
4.	Wyniki i dyskusja.....	61
4.1.	Wyniki badań surowców i międzyproduktów	61
4.1.1.	Mąka i mieszanki wypiekowe.....	61
4.1.2.	Dodatki z korzenia buraka ćwikłowego	66
4.1.3.	Ciasta.....	68
4.1.3.1.	Wyniki badań jakości ciast wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	68
4.1.3.1.1.	Ciasta pszenne	68
4.1.3.1.2.	Ciasta pszenno-żytnie.....	81

4.1.3.1.3.	Ciasta pszenno-owsiane	92
4.1.3.2.	Analiza właściwości prozdrowotnych badanych ciast wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	105
4.2.	Wyniki badań jakości oraz wartości odżywczej i prozdrowotnej chleba.....	113
4.2.1.	Chleby pszenne wzbogacone dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	113
4.2.1.2.	Wartość odżywcza i prozdrowotna chlebów pszennych z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	130
4.2.2.	Chleby pszenno-żytnie wzbogacone dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	141
4.2.2.2.	Wartość odżywcza i prozdrowotna chlebów pszenno-żytnich z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	157
4.2.3.	Chleby pszenno-owsiane wzbogacone dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	166
4.2.3.2.	Wartość odżywcza i prozdrowotna chlebów pszenno-owsianych z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	181
5.	Wnioski.....	193
6.	Streszczenie.....	194
7.	Summary	195
8.	Bibliografia	196
9.	Spis tabel	215
10.	Spis wykresów.....	219
11.	Spis fotografii i rysunków.....	224
12.	Załączniki.....	225

Wykaz najważniejszych skrótów:

FU – (ang. Farinographic Unit) standardowa jednostka pomiarów farinograficznych

EU – (ang. Extensographic Unit) standardowa jednostka pomiarów ekstensograficznych

BU – (ang. Brabender Unit) standardowa jednostka pomiarów reologicznych ciasta lub amylograficznych mąki

s.m. – sucha masa produktu

ś.m. – świeża masa produktu

GI – (ang. Gluten Index) indeks glutenu

LG – liczba glutenowa

GAE – (ang. Gallic Acid Equivalent) ekwiwalent kwasu galusowego

ABTS* - rodnik 2,2'-azobis-3-etylobenzotiazolino-6-sulfonianu

DPPH* - rodnik 2,2-difenylo-1-pikrylohydrazylu

Trolox – kwas 6-metoksy-2,5,7,8-tetrametylochroman-2-karboksylowy

L* - parametr jasności barwy w układzie CIE L*a*b*

a* - parametr chromatyczności barwy (od zielonej do czerwonej) w układzie CIE L*a*b*

b* - parametr chromatyczności barwy (od niebieskiej do zielonej) w układzie CIE L*a*b*

ΔE – bezwzględna różnica barwy w układzie CIE L*a*b*

N – niuton; jednostka siły

UPLC-PDA-ESI-MS – ultrasprawną chromatografię cieczową sprzężoną z detekcją mas oraz detektorem o matrycy fotodiodowej

R_t – czas retencji badanego związku chemicznego

$\lambda_{\max}$ – maksimum absorpcji widma promieniowania UV-Vis

MS [m/z]⁺ - masa cząsteczkowa związku wyznaczona na podstawie stosunku masy do ładunku

MS/MS [m/z]⁺ - masa cząsteczkowa związku wyznaczona na podstawie stosunku masy do ładunku

1. Wstęp

1.1. Historia pieczywa

Chleb jest jednym z najstarszych produktów spożywczych w dziejach ludzkości. Pierwsze wzmianki o tym produkcie datuje się na kilka tysięcy lat p.n.e. Początkowo były to formy plackowe, które zastąpiono produkowanymi najwcześniej przez Egipcjan (6 tysięcy lat p.n.e) formami poddany fermentacji o pulchnym i smacznym miększu. Dzięki stosowaniu różnych dodatków powodujących fermentację ciasta chleb z czasem nabrał lepszej, nie tak twardej jak na początku konsystencji. W starożytnej Grecji (VII – VI w. p.n.e.) na co dzień jadano „madzę” – papkę z mąki lub kaszy z wodą, natomiast pulchny chleb był dostępny na wyjątkowe okazje. Zawodowi piekarze w starożytnej Grecji pojawili się ok. V w. p.n.e., a starożytnym Rzymie ok. II – I w. p.n.e. Wypiekano wtedy nawet 50 różnych rodzajów pieczywa, przede wszystkim był to chleb na zaczynie lub drożdżach z moszczem winnym. Chleb przez wieki był traktowany z wielkim szacunkiem jako główny składnik ofiar dla bogów. Poprzez stulecia na całym świecie chleb był i nadal jest nie tylko podstawowym pokarmem dla ciała, ale też symbolicznym pokarmem dla duszy (Fabijańska i Fronczyk 2015).

W Polsce pierwsze wzmianki o piekarstwie pochodzą z czasów panowania króla Bolesława Chrobrego. Wówczas Polska jako jeden z czołowych producentów ziarna zbóż, stała się także dominantem w produkcji pieczywa. W dzisiejszych czasach chleb nadal zajmuje czołową pozycję w żywieniu ludności całego świata (Fabijańska i Fronczyk 2015).

1.2. Znaczenie pieczywa w żywieniu człowieka

Wskutek stałego rozwoju cywilizacyjnego oraz postępującego uprzemysłowienia i urbanizacji, gwałtownie wzrasta liczba czynników powodujących bezpośrednie zagrożenie zdrowia ludzkiego. Dużą grupę zagrożeń stanowi cały szereg chorób cywilizacyjnych (m.in. choroby sercowo – naczyniowe, cukrzyca, otyłość). Choroby cywilizacyjne pogarszają jakość życia, stanowią poważne obciążenie dla systemu ochrony zdrowia i powodują wymierne straty społeczne. Najczęściej ich leczenie jest trudne i kosztowne. Według Narodowego Programu Zdrowia choroby układu krążenia pozostają nadal najważniejszą przyczyną przedwczesnej umieralności wśród kobiet i mężczyzn w Polsce (ok. 50%). Ponadto szacuje się, że obecnie na świecie na cukrzycę obu typów choruje około 175 mln ludzi. W Polsce problem otyłości również przybiera coraz większe rozmiary. Otyłość dotyka od 5% do 8% populacji dzieci i młodzieży, a od 8% do 12% dzieci w naszym kraju wykazuje nadwagę. Tymczasem liczne prace naukowe wskazują, że zachorowalność na te choroby może być radykalnie zmniejszona przez dobór

odpowiedniej diety, bogatej w aktywne składniki (Świderski i in. 2005, Wawrzyński 2019, Lipińska-Ojrzanowska i in. 2019).

Profilaktyka chorób cywilizacyjnych głównie opiera się na zmianie diety potencjalnych pacjentów. W przypadku zaburzeń w funkcjonowaniu układu krążenia zalecane jest spożycie żywności o wysokiej zawartości kwasów tłuszczowych wielonienasyconych omega-3 (ω -3) i omega-6 (ω -6) w odpowiedniej proporcji, witamin antyoksydacyjnych (wit. E, A, C) i o obniżonej zawartości cholesterolu i tłuszczów pochodzenia zwierzęcego. Choroby te wymagają także ograniczenia spożycia chlorku sodu. Rodzajem żywności polecanej w diecie hipcholesterolemicznej są np. produkty o charakterze pro- i prebiotyków. Należy tu m.in. żywność fermentowana zawierająca zwłaszcza szczepy kultur bakterii kwasu mlekowego lub żywność zawierająca nieskrobiowe polisacharydy (pektyny, gumę guar, β -glukany, inulinę, fruktozooligosacharydy). W profilaktyce chorób cywilizacyjnych korzystne jest także spożycie żywności bogatej w związki o charakterze przeciwutleniającym (polifenole, flawonoidy, kwasy fenolowe, antocyjany). Ma ona ponadto charakter niskoenergetyczny (co najmniej 30% zmniejszona wartość energetyczna w stosunku do żywności tradycyjnej), zapobiegający prekursorom chorób układu krążenia – nadwadze i otyłości. Dla cukrzycy podstawowym zadaniem dietoterapii jest utrzymanie prawidłowego stężenia glukozy we krwi, optymalnego stężenia lipidów i lipoprotein w surowicy, optymalnych wartości ciśnienia tętniczego w celu redukcji ryzyka chorób naczyniowych oraz uzyskanie pożądanej masy ciała. W zaleceniach żywieniowych dla tej grupy chorób szczególną uwagę zwraca się na unikanie spożywania cukrów prostych. Zamiast cukrów prostych, powinno spożywać się węglowodany złożone m.in. w postaci produktów zbożowych, warzyw lub ziemniaków. Obecny w tych produktach błonnik pokarmowy spowalnia trawienie i wchłanianie węglowodanów, uwalniając stopniowo glukozę do krwi. Dodatkowo zapobiega on powstawaniu otyłości oraz sprzyja redukcji masy ciała (Sadowska i in. 2015, Schulze i in. 2007).

Spośród przetworów zbożowych szczególne miejsce zajmuje pieczywo. Chleb zawiera bogate spektrum składników obejmujących białka, węglowodany, tłuszcze, składniki mineralne, błonnik naturalny i witaminy. Służą one jako materiał budulcowy dla organizmu, są źródłem energii, aktywnie uczestniczą w procesach prawidłowej przemiany materii i funkcjonowania przewodu pokarmowego. Współczesny konsument, będący świadomy wartości żywieniowej chleba jest zainteresowany głównie jego funkcją prozdrowotną. Funkcja ta wiąże się z profilaktyką i zmniejszeniem ryzyka zapadalności na choroby układu krążenia, nowotwory, otyłość i cukrzycę typu 2. Duże znaczenie ma zastosowanie pieczywa specjalnego w dietoterapii, czyli żywieniu leczniczym. Z tymi nowymi funkcjami pieczywa związana jest obecność składników

bioaktywnych, których profil ilościowo – jakościowy kształtowany jest w cyklu technologicznym od ziarniaka aż po kromkę chleba, odpowiadającą jednej porcji produktów zbożowych w modelu zdrowego żywienia (Szawara-Nowak 2013).

Problemy zdrowotne związane ze spożyciem pieczywa koncentrują się przede wszystkim wokół alergii pokarmowych na białka glutenowe, nadwrażliwości na gluten i celiakii. Chorobom tym często towarzyszą inne dolegliwości, jak np.: cukrzyca, nadciśnienie tętnicze, otyłość, bóle stawów lub choroby kardiologiczne i migreny (Orkusz i Garaszczyk 2018).

Celiakia to choroba trzewna o podłożu autoimmunologicznym, w której białko ziarna pszenicy, żyta czy jęczmienia – gliadyna lub jej pochodne – prowadzi do zaniku kosmków jelitowych w jelicie cienkim. Celiakia występuje wyłącznie u osób predysponowanych genetycznie, natomiast nadwrażliwość lub alergia na gluten ma wyłącznie podłoże immunologiczne – nie są uwarunkowane genetycznie. Wszystkie te jednostki chorobowe objawiają się często dolegliwościami nie związanymi z układem pokarmowym (takimi jak: bóle brzucha, wzdęcia, zaparcia, biegunka, znaczna utrata masy ciała), wynikającymi z zaburzeń w wchłanianiu składników odżywczych. Są to m.in.: niedokrwistość, skurcze mięśni, osteopenia, neuropatia obwodowa, cukrzyca insulinozależna czy zapalenia skóry. Jedynym sposobem leczenia jest całkowita eliminacja glutenu z diety (Rowicka 2016, Orkusz i Garaszczyk 2018).

Pieczywo bezglutenowe bazuje głównie na mąkach z ziarna zbóż niechlebowych (kukurydza, proso zwyczajne) lub nasion pseudozbóż (gryka, amarantus, komosa ryżowa, ryż siewny). Może to być także pieczywo owsiane, jeśli powstało z surowca o udowodnionym poziomie białek glutenowych poniżej 20 mg/kg. W związku z coraz większym zainteresowaniem konsumentów produktami bezglutenowymi coraz więcej producentów głównie sektora rynku piekarskiego decyduje się na innowacje w swoich wyrobach (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 828/2014 z 30.04.2014 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat nieobecności lub zmniejszonej zawartości glutenu w żywności, Orkusz i Garaszczyk 2018, Kajzer i Diowski 2019).

1.3. Klasyfikacja pieczywa w Polsce

W prawodawstwie polskim terminem pieczywo określa się wszystkie wyroby piekarskie tj. różnego rodzaju chleby oraz pieczywo drobne, najczęściej bułki. Pod pojęciem chleba w Polsce i Europie rozumie się chleb bochenkowy, czyli pieczywo powstałe z mąki i wody na drożdżach lub zakwasie, wyrobione na kształt bochenka. Według Polskiej Klasyfikacji Wyrobów i Usług wydanej przez Główny Urząd Statystyczny masa jednostkowa bochenka chleba powinna wynosić powyżej 400 g, a pieczywa drobnego, nie powinna przekroczyć 200 g. Podstawowym kryterium

w Polsce klasyfikującym asortyment pieczywa w handlu detalicznym jest rodzaj mąki użytej do wypieku. Wyróżnia się pieczywo żytnie, pszenne i mieszane. Pieczywo żytnie otrzymuje się z mąki żytniej jasnej lub razowej z udziałem wody, soli, drożdży lub gotowego zakwasu metodą bezpośrednią lub poprzez ukwaszenie metodą pośrednią. Do jego produkcji dopuszcza się także dodatki specjalne, np.: miód pszczeli, cukier, mleko, przyprawy ziołowe. Pieczywo pszenne wytwarza się z mąki pszennej jasnej lub razowej z udziałem wody, soli i drożdży (pieczywo pszenne, zwykłe) oraz z dodatkiem surowców specjalnych (pieczywo pszenne, wyborowe) metodą bezpośrednią lub z udziałem roztworu metodą pośrednią. Pieczywo mieszane otrzymuje się z mąki pszennej i żytniej, najczęściej w stosunku 70:30 i 50:50 lub mąki żytniej i pszennej w proporcji 60:40, z udziałem wody, soli i/lub drożdży, zakwasu. Pieczywo mieszane może być wytwarzane na roztworze pszennym lub zakwasie żytnim (Goryńska-Goldman 2010, Gambuś 2016, PN-A-74112:1997).

Do podziału pieczywa stosuje się także rozróżnienie ze względu na typ użytej mąki, gdzie wyróżnia się: pieczywo ciemne i jasne. Pieczywo ciemne sporządzone z mąki o zawartości popiołu powyżej 1,0% lub mieszanki mąki o średniej ważonej zawartości popiołu powyżej 1,0%. Zwyczajowo taką mąkę określa się jako pszenną lub żytnią razową (pełnoziarnistą), pszenną graham, pszenną lub żytnią sitkową. Pieczywo jasne wytwarzane jest z mąki lub mieszanki mąki o zawartości popiołu poniżej 1,0%. Wśród tej grupy możemy wyróżnić także pieczywo jasne pszenne wyborowe, zawierające w przeliczeniu na masę mąki 3-15% tłuszczu i cukru oraz pieczywo półcukiernicze posiadające w swym składzie od 15 do 40% dodatków takich jak: cukier, tłuszcz, jaja, mleko i inne (Goryńska-Goldman 2010, Borowska i Kowrygo 2013, Gambuś 2016).

Każda z wymienionych wyżej klas pieczywa może być podzielona na asortyment zwykły i specjalny. Pieczywo zwykłe produkowane jest z surowców podstawowych (mąki, soli, wody, drożdży). Zaliczamy tu chleb, pieczywo drobne i batony. W jego recepturze nie ma cukru i tłuszczu lub ich ilości nie przekraczają 3%. Natomiast pieczywo specjalne posiada zazwyczaj odmienną recepturę lub proces technologiczny. W swym składzie posiada nietypowy surowiec zbożowy lub inny pochodzenia roślinnego bądź zwierzęcego narzucający zastosowanie zmian w sposobie wytwarzania od klasycznego dla pieczywa. Pieczywo specjalne odznacza się charakterystycznymi cechami smakowo – zapachowymi i szczególną wartością odżywczą, np. chleb wyprodukowany specjalną technologią, np.: pumpernikiel, chleb o innej wartości odżywczej, np.: wysokobłonnikowy oraz chleb bezglutenowy (Goryńska-Goldman 2010, Gambuś 2016).

Każdy rodzaj pieczywa przed wypuszczeniem na rynek podlega dokładnej ocenie jakości obejmującej badania fizykochemiczne oraz ocenę sensoryczną. Przy wypieku próbnym wykonuje

się ponadto ocenę procesu wypiekowego tj. obliczenia dotyczące wydajności ciasta, strat wypiekowych i wydajności pieczywa. Do analiz fizykochemicznych pieczywa zalicza się: pomiary objętości, kwasowości, wilgotności miękiszu, porowatości miękiszu i składu chemicznego pieczywa (zawartość białka, cukrów, tłuszczu, błonnika pokarmowego, substancji mineralnych). Sprawdzana jest także masa poszczególnych bochenków i ich smak, zapach, kształt i wygląd zewnętrzny, wygląd miękiszu, barwa skórki i miękiszu (Jakubczyk i Haber 1983).

1.4. Technologia produkcji pieczywa

1.4.1. Podstawowe surowce piekarskie

Mąka

Mąka to podstawowy surowiec w przemyśle piekarskim powstający z ziarna zbóż w trakcie ich przemiału. Obecnie oprócz podstawowych mąk chlebowych wytwarzanych z ziarna pszenicy i żyta, mąkę uzyskuje się także z ziarna jęczmienia, owsa, kukurydzy, nasion gryki czy nasion roślin strączkowych takich jak, groch, fasola, ciecierzycy czy soczewica. Mąki z ziarna zbóż niechlebowych czy nasion są najczęściej stosowane w mieszankach wraz z mąką pszenną bądź żytnią.

W zależności od warunków prowadzenia przemiału ziarna istnieje możliwość uzyskania mąki różnej jakości uzależnionej przede wszystkim od stopnia rozdrobnienia ziarna i procentowego udziału poszczególnych warstw ziarna zbóż. O dokładności oddzielenia części okrywy owocowo-nasiennej (otrąb) od bielma w trakcie przemiału wnioskuje się na podstawie parametru jakim jest wyciąg mąki. Jest to wydajność mąki tj. stosunek masy bielma do całości ziarna, wyrażona w procentach. Dla mąki pszennej chlebowej wyciąg powinien wynosić ok. 82,5%, a dla mąki żytniej ok. 75%. Parametr ten jest ważny nie tylko z punktu widzenia wpływu na skład chemiczny i wartość odżywczą gotowej mąki, ale także jej właściwości wypiekowych i organoleptycznych (Obuchowski 2016).

Według Polskiej Normy (PN-A-74022:2003) rodzaj mąki określa się podając nazwę zboża, z którego ziarna pochodzi, jej typ określanego na podstawie zawartości popiołu w gramach na 100 kg s.m. mąki oraz jej nazwy handlowej. W piekarstwie najczęściej stosowane są mąki pszenne w typie 500, 550 (na pieczywo drobne np. bułki), 750, 1400, 1850 (graham) – do produkcji pieczywa mieszanego oraz mąki żytnie w typach 720 (chlebowe), 1400 (sitkowa) i 2000 (razowa) (Michniewicz i Makowska 2016, Obuchowski 2016, PN-A-74022:2003).

W zależności od parametrów przemiału także barwa mąki ulega zmianie. Mąka grubsza zawierająca więcej widocznych cząstek okrywy owocowo – nasiennej ziarna jest ciemniejsza od mąki o drobnej granulacji.

Mąka jako surowiec do produkcji chleba czy ciast powinna być także wolna od wszelkich obcych posmaków i zapachów. Naturalny zapach mąki jest uzależniony od zboża, z którego powstała. Smak mąki nie jest do końca określony, przyjęto, że powinien być świeży, swoisty ze zbożem poddanym przemiałowi oraz nieco słodkawy (Jakubczyk i Haber 1983).

Parametry przemiału ziarna decydują także o granulacji uzyskanej mąki, czyli stopniu jej rozdrobnienia. Wraz ze wzrostem granulacji mąki maleje jej zdolność pochłaniania wody, a tym samym proces pęcznienia białek glutenu w trakcie powstawania ciasta jest wolniejszy. Mąka o zbyt drobnej granulacji nie jest surowcem pożądanym, gdyż pochłania większą ilość wody co prowadzi do uzyskania ciasta wilgotnego, wręcz rozpluwającego się, ujemnie wpływającego na dalsze etapy wypieku chleba.

Jakość mąki zależna jest także od jej struktur, czyli wielkości i składu cząstek. Według danych literaturowych cząstki mąki o wielkości do 15 μm składają się z pokruszonych ziarenek skrobi oraz cząsteczek białka. Cząstki większe niż 40 μm to już aglomeraty części bielma razem z białkiem. W trakcie przemiału znacznie łatwiej oddziela się białko wypełniające niż przylegające pozostające w całości lub w części związane z ziarenkami skrobi. Rozdział mąki na frakcje uzależnione od wielkości zawartych w niej cząstek pozwala na ocenę zawartości białka w danej mące (Jakubczyk i Haber 1983). Oprócz omówionych wyżej cech fizycznych mąki na jej jakość wpływa przede wszystkim jej skład chemiczny.

Skład chemiczny i wartość wypiekowa mąki

Podstawowe surowce do produkcji pieczywa, czyli mąka pszenna i żytnia w znaczący sposób różnią się między sobą składem chemicznym, co sprawia, że pieczywo pszenne i żytnie wytwarzane jest innymi metodami prowadzenia ciasta dla uzyskania wyrobu o dobrej jakości. W skład mąki wchodzi następujące substancje: woda, węglowodany (skrobia, cukry, błonnik i pentozany), białka, sole mineralne, tłuszcze, barwniki i enzymy. Ich ilość uzależniona jest od miejsca występowania w strukturze ziarna i od stopnia wyciągu mąki (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007, Cacak-Pietrzak i in. 2017, Buksa i in. 2012).

Pojęcie wartości wypiekowej mąki obejmuje jej zdolność do chłonięcia wody dodanej i tworzenia struktury ciasta o optymalnych właściwościach fizycznych oraz zdolność do wytwarzania i zatrzymywania produkowanych gazów w trakcie fermentacji ciasta. Tworzenie ciasta o optymalnych właściwościach fizycznych i zdolność do zatrzymywania w nim gazów

zależy w przypadku mąki pszennej od ilości i jakości glutenu, a w przypadku mąki żytniej od ilości i jakości skrobi oraz aktywności enzymów amylolitycznych. Natomiast zdolność do wytwarzania gazów zależy od ilości cukrów ulegających fermentacji i aktywności enzymatycznej mąki (Michniewicz i Makowska 2016, Szafrńska 2011).

Wilgotność mąki dla zachowania bezpieczeństwa mikrobiologicznego w trakcie jej przechowywania nie może przekraczać 15%. Duża wilgotność mąki powoduje jej zbrylanie się, zwiększa ryzyko rozwoju drobnoustrojów (zwłaszcza pleśni) oraz uaktywnia enzymy własne mąki. Przyczynia się to do pogorszenia jej jakości wypiekowej (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007).

Najważniejszym ilościowo składnikiem bielma ziarna zbóż jest skrobia, której zawartość w ziarnie pszenicy waha się od 55 do 70%. Jej rozmieszczenie i struktura uzależnione są od gatunku zboża.

Skrobia jest związkiem silnie higroskopijnym, mogącym wchłonać wodę do 30% masy. Jej gęstość wynosi $1,5 \text{ g/cm}^3$. W zimnej wodzie ulega tylko nieznacznemu pęcznieniu, rozpuszcza się natomiast dobrze w kwasie solnym, a przy ogrzewaniu jej roztworów wodnych do temperatury 55-67°C następuje jej rozkład powodujący tworzenie się roztworu koloidalnego – kleiku. To właśnie ta zdolność do tworzenia kleiku wykorzystywana jest przy tworzeniu ciast, a w szczególności żytniego. Na podstawie temperatur początku i końca kleikowania skrobi wyznacza się także różnice pomiędzy skrobią pszenną, a żytnią. Dla skrobi pszennej początek kleikowania to temp. od 59-61°C, a dla żytniej odpowiednio 40-62°C. Koniec kleikowania dla skrobi pszennej przypada w temperaturze 80-98°C, natomiast skrobi żytniej w 60-82°C. Do pełnego kleikowania skrobi potrzebna jest trzykrotnie większa ilość wody. Tak uwodniona skrobia jest ponadto bardziej podatna na rozkład enzymatyczny. Proces ten również istotny w technologii piekarskiej nosi nazwę scukrzania skrobi. W wyniku działania α -amylazy rozkładane są całe, nawet nie uszkodzone mechanicznie ziarna skrobi, natomiast β -amylaza może działać tylko na zewnętrzne łańcuchy i ziarna uszkodzone. Ten rozkład skrobi pod wpływem enzymów amylolitycznych prowadzi do wytworzenia mieszaniny w 20-30% składającej się z dekstryn i w 70-80% z maltozy. Podatność skrobi na działanie enzymów można określić laboratoryjnie poprzez pomiary liczby opadania. Wyróżnik ten pozwala na pośrednie określenie stopnia aktywności enzymów własnych mąki. Niska wartość liczby opadania świadczy o wysokiej aktywności enzymatycznej mąki. Dla mąki pszennej parametr ten powinien wynosić od 220 do 350 sekund, a dla żytniej – 125-200 sekund. Właściwości skrobi bada się także przy pomocy amylografu, a uzyskany wykres pośrednio pozwala scharakteryzować stan układu skrobiowo – amylolitycznego badanej mąki (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007, Obuchowski 2016, Gambuś i in. 2018).

Z punktu widzenia technologii piekarstwa istotny jest też stopień uszkodzenia skrobi w trakcie przemiału ziarna. Uszkodzenie ziarenek skrobiowych niesie ze sobą wzrost wodochłonności mąki, przyspieszenie procesu ich pęcznienia i zwiększenie ich objętości, a co za tym idzie wzrost rozpuszczalności ziaren i szybsze tworzenie się kleiku nawet już w niższej niż wymagana temperaturze. Takie ziarna są również bardziej podatne na działanie amylaz i ich rozkład do cukrów prostszych jest przyspieszony. Najwięcej skrobi uszkodzonej posiadają mąki pochodzące z końcowych pasaży przemiału gatunkowego, a najmniej mąki z pierwszych pasaży śrutowych i wymiałowych. Większy udział skrobi uszkodzonej powoduje intensyfikację procesów fermentacyjnych w cieście. Zwiększa się produkcja CO₂, co jest bardzo istotne zwłaszcza w końcowej fazie fermentacji, gdyż wpływa na uzyskanie pieczywa o dużej objętości (Gąsiorowski i in. 2004, Szafrńska 2017).

W mące pszennej zawartości cukrów prostych i dwucukrów jest na poziomie 2%, a spośród nich najważniejsza jest sacharoza. Cukry redukujące (glukoza, fruktoza, maltoza) stanowią niewielkie ilości składu chemicznego mąki. W mące żytniej natomiast zawartość cukrów jest większa, do 4,5%, są one pożywką dla drożdży w pierwszych fazach fermentacji ciasta zanim amylazy mąki rozłożą skrobię do postaci dla nich użytecznej (Gąsiorowski i in. 1994, 2004, Edwards 2007).

W mące, poza skrobią, występują również węglowodany nieskrobiowe (np.: arabinoksylany, celuloza, β -glukany) ogólnie nazywanych błonnikiem pokarmowym. Przeciętna zawartość błonnika w ziarnie pszenicy wynosi 10-11% i umiejscowiony jest głównie w zewnętrznych warstwach ziarniaka. W związku z tym przy przemiale ziarna na mąkę jasną, większość błonnika trafia do frakcji otrąb (Gąsiorowski i in. 2004, Paczkowska i Kunachowicz 2004).

Bardziej istotne znaczenie węglowodanów nieskrobiowych, szczególnie pentozanów jest w tworzeniu struktury ciasta żytniego. W ziarnie żyta zawartość związków pentozanowych, zwłaszcza arabinoksylanów, waha się w granicach od 9-10%, co jest ilością dwukrotnie przewyższającą ich zawartość w ziarnie pszenicy. Istotną właściwością tych substancji jest ich wysoka wodochłonność (zdolność chłonięcia wody), 1 g pentozanów może wiązać nawet do 10 g wody dodanej przy tworzeniu ciasta żytniego. Obecność tych związków w znaczny i zarazem niekorzystny sposób działa na proces pęcznienia białek i skrobi mąki żytniej oraz przyczynia się do zwiększenia lepkości ciasta. Poprawę właściwości ciasta można uzyskać poprzez hydrolizę kwasową pentozanów, czego rezultatem są pentozy, które nie ulegają fermentacji pod wpływem enzymów drożdży. Reakcja ta jest powszechnie wykorzystywana w produkcji chlebów żytnich, w procesie ukwaszania ciasta (Jakubczyk i Haber 1983, Gąsiorowski i in. 1994, Gawęcki i Obuchowski 2016).

Z punktu widzenia żywienia człowieka, pod względem biologicznym najlepsze są frakcje błonnika pokarmowego ziarna owsa. W związku z tym, że przemiał ziarna tego gatunku na mąkę odbywa się bardzo często sposobem prostym umieszczony w zewnętrznych częściach ziarniaka błonnik pokarmowy, głównie β -glukany trafiają do gotowego produktu. Oprócz tego część ogólnej zawartości tych substancji w ziarnie owsa znajduje się również w bielmie. β -glukany stanowią od 4-7% całości ziarniaka owsa, a w otrębach jest ich od 6 do 9%, co czterokrotnie przewyższa ich ilość w ziarnie pszenicy i dwukrotnie w ziarnie żyta (Michniewicz 1995).

Podobnie jak w mąkach innych zbóż, choć w innych proporcjach i rozmieszczeniu w ziarnie, wśród białek mąki pszennej można wyróżnić: albuminy rozpuszczalne w wodzie, globuliny rozpuszczalne w rozcieńczonych roztworach soli obojętnych, prolaminy rozpuszczalne w mieszaninie alkoholu i wody oraz gluteliny rozpuszczalne w rozcieńczonych kwasach lub zasadach. Dwie pierwsze frakcje związków białkowych występują głównie w zewnętrznych warstwach ziarniaka oraz w zarodku. Natomiast prolaminy i gluteliny, ziarna pszenicy, czyli gliadyny i gluteniny rozmieszczone są głównie w części zapasowej, czyli bielmie mącznym. Te frakcje białek stanowią ponad 80% całkowitej ilości białka ziarniaka pszenicy i zwykle w całości przechodzą do mąki w trakcie przemiału. Są one ubogie w aminokwasy egzogenne, m.in. w lizynę, metioninę i tryptofan, a bogate w kwas glutaminowy, glutaminę i prolinę, a aminokwasy rozgałęzione, jak np. walina, leucyna czy izoleucyna stanowią około 14-15% ich składu (Gąsiorowski i in. 2004, Brzozowski i in. 2005, Franaszek i in. 2013).

Gluteniny i gliadyny to frakcje białkowe tworzące w cieście pszennym tzw. gluten, substancję białkową nadającą mu elastyczność, zdolność zatrzymywania gazów, a pieczywie strukturę gąbczastą. Po dodaniu do mąki wody, cząsteczki białka ulegają uwodnieniu i pęcznieją. Mieszenie ciasta ułatwia kontakt tych cząsteczek między sobą i ich wzajemnie łączenie przez boczne łańcuchy aminokwasów m.in. wiązaniami peptydowymi lub przez mostki siarczkowe powstające z grup $-SH$ cysteiny. Mieszenie ciasta powoduje także uporządkowanie łańcuchów białkowych na kształt siatki zatrzymującej gazy wytwarzane w trakcie fermentacji. Ciasto pszenne zawierające odpowiednią ilość glutenu o dobrej jakości odznacza się obecnością drobnych i równych przestrzeni wypełnionych CO_2 wytworzonym przez drożdże. Przestrzenie te dodatkowo są równomiernie rozmieszczone w całej masie ciasta. Mała ilość i gorsza jakość glutenu ciasta powoduje mniejszą zdolność do zatrzymania gazów lub ich nierówne rozmieszczenie w strukturze ciasta. W rezultacie otrzymuje się pieczywo o małej objętości, zbitym i suchym miększu lub posiadającym duże nieregularne pory. Ocenę ilości glutenu przeprowadza się poprzez wymywanie ręcznie lub mechanicznie z porcji ciasta pszennego. Przy jego wymywaniu sposobem ręcznym (PN-EN ISO 21415-1:2007) jego jakość określa się przez takie wyróżniki jak: rozplywalność

glutenu [mm], jego elastyczność i liczba glutenowa. Zgodnie z Polskimi Normami (PN-A-74022:2003) dla mąk chlebowych gluten powinien mieć rozptywalność nie mniejszą niż 9 mm, przy minimalnej zawartości 25%. Natomiast przy wymywaniu glutenu za pomocą urządzeń mechanicznych (PN-EN ISO 21415-2:2015-12) jego jakość określa indeks glutenu. Dla mąk pszennych chlebowych ilość glutenu uzyskana tym sposobem nie powinna być mniejsza niż 27%, a wartość indeksu glutenu nie mniejsza niż 60. Jakość białek glutenowych mąki pszennej określa także wskaźnik sedymentacji wyrażony przez wielkość osadu napęczniałych cząstek mąki w roztworze kwasu mlekowego i izopropanolu w obecności błękitu bromofenolowego. Objętość osadu jest tym większa, im więcej białek glutenowych znajduje się w mące. Dla mąki o dobrej wartości wypiekowej wskaźnik sedymentacji mieści się w przedziale od 25 do 75 cm³. Do pomiarów jakości wytworzonej siatki glutenowej w cieście pszennym służą także badania reologiczne i fermentograficzne (Jakubczyk i Haber 1983, Gąsiorowski i in. 2004, Franaszek i in. 2013, Michniewicz i Makowska 2016).

Ziarno żyta i mąka żytnia podobnie jak produkty przemiału ziarna innych gatunków zbóż, zawiera te same grupy związków białkowych, lecz w innej proporcji ilościowej oraz odmiennej strukturze ich cząsteczek. W mące żytniej w stosunku do pszennej jest trzykrotnie więcej białek z grupy rozpuszczalnych w wodzie – albumin (15-35% białka ogółem) i dwukrotnie więcej rozpuszczalnych w roztworach soli – globulin (15-30% białka ogółem). Tak duża zawartość tych grup białek w ziarnie żyta w znaczący sposób zwiększa ilość fazy ciekłej ciasta z mąki żytniej, co czyni je bardziej lepkie w przeciwieństwie do ciasta z mąki pszennej. Główne białka zapasowe bielma ziarna żyta (prolaminy), czyli sekaliny posiadają zbliżoną strukturę przestrzenną do gliadyn w ziarnie pszenicy, lecz w budowie pojedynczych cząsteczek występują inne aminokwasy. Więcej jest treoniny, metioniny, tyrozyny, fenyloalaniny i lizyny oraz mniej kwasu glutaminowego, proliny i aminokwasów rozgałęzionych. Ogólna zawartość tej grupy białek w bielmie ziarna żyta wynosi 20-45% całkowitej ilości białka. Frakcje białkowe mąki żytniej w związku z powyższymi różnicami w proporcji ich poszczególnych grup nie tworzą w cieście charakterystycznej dla ciasta pszennego siatki glutenowej. Mają one zdolność do tworzenia struktury lepkiego roztworu rozpuszczonych białek, który jedynie przy wzroście kwasowości ciasta ulega wzmocnieniu (Gąsiorowski 1994, Jarosz 2016).

Ziarno owsa i produkty z niego uzyskane zawierają dużą ilość białek z grupy globulin, których udział w ogólnej zawartości białka stanowi aż 80%. W ziarniakach innych gatunków zbóż jest to zaledwie 2-12%. Globuliny ziarna owsa są bogate w aminokwasy egzogenne, m.in. lizynę, treoninę, metioninę i tryptofan. Podnosi to wartość odżywczą wyrobów piekarskich z udziałem ziarna lub produktów pełnego przemiału owsa. Ziarno i mąkę owsianą cechuje mała zawartość

białek zapasowych – prolamin (awenin), a w związku z tym za tworzenie struktury ciasta odpowiada w większości układ skrobiowo-enzymatyczny (Gąsiorowski i in. 1995, Gibiński i in. 2005, Kawka 2010, Piątkowska i in. 2010).

Wśród składników mineralnych znajdujących się w mące najwięcej jest: potasu, fosforu, sodu, wapnia, magnezu, siarki, chloru oraz w ilościach śladowych – cynku, niklu, żelaza, manganu, boru. Pierwiastki te występują w postaci soli nieorganicznych lub w połączeniach ze związkami organicznymi. Z racji nierównomiernego rozmieszczenia składników mineralnych w ziarnie, np. w ziarnie pszenicy w bielmie znajduje się ich około 0,4-0,5%, w zarodku 5,0-5,8%, w okrywie owocowej – 1,8-2,5%, w okrywie nasiennej – 5,5-8,0%, a w warstwie aleuronowej około 8,5-13% w przeliczeniu na suchą substancję danej części ziarna, ich ilość w mące jest różna. Zasadniczy wpływ ma na to przemiał ziarna i uzyskany wyciąg mąki, szacowany na podstawie zawartości popiołu (Jakubczyk i Haber 1983, Litwinek i in. 2015).

Związki tłuszczowe mąki należą w głównej mierze do lipidów prostych, ale występują także lipidy złożone np. fosfolipidy, glikolipidy oraz niewielkie ilości steroli i ich estrów z kwasami tłuszczowymi, czyli sterydów. W związku z tym, że związki tłuszczowe zlokalizowane są w większości gatunków zbóż w zarodku i warstwie aleuronowej ziarna (dla 10% całej ilości tłuszczu w ziarnie pszenicy), w trakcie przemiału na mąkę znaczna ich ilość trafia do frakcji otrąb. Wyjątkiem jest tutaj ziarno owsa lub jęczmienia, w których tłuszcze są równomiernie rozmieszczone w całej masie ziarniaka. W ziarnie pszenicy znajduje się od 1,65-2,50% tłuszczów w suchej substancji ziarna, z czego bielmo mączne zawiera ich ok. 1-2% w stosunku do udziału bielma w całej masie ziarna. Ziarno żyta posiada podobną zawartość związków tłuszczowych jak ziarno pszenicy (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007).

Zawartość tłuszczu w mące zależy w głównej mierze od jej rodzaju, wyciągu i dojrzałości. Znaczny rozkład tłuszczów powoduje zwiększenie ilości kwasów tłuszczowych, z których zwłaszcza te nienasycone przy utlenieniu do nadtlenków powodują przyspieszenie procesu psucia się mąki. Wzrost ilości kwasów tłuszczowych dodatkowo zwiększa kwasowość mąki (Jakubczyk i Haber 1983, Ceglińska i in. 2012, Litwinek i in. 2017).

Mąka w zależności od jej wyciągu ma barwę od lekko kremowej do intensywnie żółtej. Wiąże się to z obecnością barwników karotenoidowych, towarzyszących tłuszczom mąki, w których ulegają rozpuszczeniu. Spośród nich w mące pszennej jest najwięcej karotenu i ksantofili oraz należących do glikolipidów flawonów. Przy długim przechowywaniu mąki związki te ulegają utlenieniu do postaci bezbarwnych leukozwiązków i tym samym mąka traci swój lekko żółtawy odcień barwy (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007).

W ziarnie zbóż witaminy występują głównie w zarodku i w warstwie aleuronowej, stąd ich ilość w mące zależy przede wszystkim od jej wyciągu. Przy większej ilości substancji białkowych w bielmie ziarna pszenicy szklistej niż dla bielma ziarna pszenicy mączystej, mąka z tego rodzaju ziarna nawet przy tym samym wyciągu będzie zawierać więcej witamin. Przetwory zbożowe w tym mąka są w znacznym stopniu źródłem witamin z grupy B (m.in. tiaminy, ryboflawiny, kwasu pantotenowego, pirydoksyny i kwasu nikotynowego). Dużą ilość stanowią też witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, głównie witamina E i A. Dotyczy to w szczególności produktów z ziarna owsa, które zawierają wymienionych witamin o około 5% więcej (Jakubczyk i Haber 1983, Kozłowska-Strawska i in. 2015, Szawara-Nowak 2013, Wiśniewska i Boros 2019).

Enzymy występujące w ziarnach zbóż i w mące według specyfiki ich działania dzieli się na dwie zasadnicze grupy: hydrolazy (np.: amylazy, proteazy, lipazy) i enzymy oksydo – redukcyjne (np.: lipooksydaza, tyrozynaza, glukooksydaza, katalaza) (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007).

Największe znaczenie z punktu wartości wypiekowej mąki mają amylazy. Ze względu na rodzaj wiązania w łańcuchach skrobiowych na który działają, rozróżnia się α -amylazę i β -amylazę. Enzym α -amylaza – dekstrynująca działa na wiązania α -1,4-glikozydowe wewnątrz łańcuchów skrobi, głównie amylozy. Ostatecznymi produktami jej działania są cząsteczki maltozy i niewielka ilość glukozy. Amylopektyna pod wpływem tego enzymu rozpada się na cząsteczki maltozy i niskocząsteczkowe dekstryny. Aktywność α -amylazy zależy od temperatury (dla pszenicy – 60-66°C, dla żyta – 54-63°C), pH środowiska (5,6-6,0) i uwodnienia substratu. Enzym β -amylaza rozkłada skleikowaną lub rozpuszczalną skrobię mąki, działając na końce niealdehydowe jej łańcuchów. Końcowymi produktami działania tego enzymu są cząsteczki maltozy i wysokocząsteczkowe dekstryny. Działanie β -amylazy zależy od temperatury (dla pszenicy i żyta – 48-51°C) oraz pH środowiska (4,5-5,8). Poziom aktywności enzymów amylolitycznych mąki badany jest pośrednio przy pomocy aparatu Hagberga-Pertena (liczba opadania) i dla mąki żytniej amylografu (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007).

Drugą, ważną grupą białek enzymatycznych są także proteazy, działające na łańcuchy peptydowe innych białek z utworzeniem jednakowych ilości grup aminowych i karboksylowych. W ziarnie zbóż i mące występują dwa ich rodzaje, a mianowicie proteinazy i peptydazy. Proteinazy należące do endopeptydaz działają wewnątrz łańcuchów peptydowych białek. Z kolei peptydazy jako egzo-peptydazy odszczepiają skrajne cząsteczki aminokwasów. Optimum ich działalności to temperatura 45°C i pH środowiska 4,1. Ich powiązanie z wartością wypiekową mąki wynika z wpływu na siatkę glutenową w fermentującym cieście, która wówczas ulega rozkładowi, a ciasto mięknie. Działalność enzymów proteolitycznych jest także silnie związana

z aktywnością amylaz. Do stwierdzenia ich dużej aktywności jest pośrednio oznaczenie rozpuszczalności glutenu ciasta oraz pomiary na farinografie – tzw. krzywa odstania (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007).

Mąka głównie pełnoziarnista zawiera też lipazy i fosfatazy. Hydroliza tłuszczów przy udziale lipaz zachodzi w kwaśnym pH i zachodzi szybciej w miarę zwiększania wilgotności mąki. Dodatkowo mąka z ziarna pszenicy szklistej zawiera więcej tych enzymów niż mąka z ziarna pszenicy mączystej. Wyroby z mąki o znacznej zawartości kwasów tłuszczowych odróżnia zmieniony smak. Ciekawym rodzajem esteraz jest fitaza występująca przede wszystkim w razowej mące żytniej. Jej działalność ukierunkowana jest na fitynę. Aktywność fitazy zwiększa się wraz ze spadkiem pH w trakcie ukwaszania ciasta żytniego (optimum 5,2-5,3) (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007). Enzym ten jest bardzo ważny z punktu wartości odżywczej mąki pełnoziarnistej. Nierozłożona fityna jest nieprzyswajalna przez organizm człowieka, ale tworzy trwałe kompleksy z wapniem, cynkiem lub żelazem, co ogranicza ich dostępność z pieczywa (Humer i Schedle 2016).

W mące znajdują się także śladowe ilości m.in. lipooksydazy powodującej utlenianie karotenoidów i pojaśnianie mąki, tyrozynazy utleniającej tyrozinę, czego wynikiem są melaniny będące powodem ciemnienia pieczywa i ciasta – głównie żytniego i katalazy rozkładająca nadtlenek wodoru w ziarnie (Jakubczyk i Haber 1983, Edwards 2007).

Mieszanki wypiekowe

Mąka, powstała w trakcie przemiału ziarna wymaga przed zastosowaniem jej do wypieku pieczywa, nie tylko tzw. dojrzewania dla poprawy jej wartości technologicznej (od tygodnia dla mąk pełnoziarnistych po cztery tygodnie dla mąk jasnych), ale także wymieszania. W celu stworzenia mąki dającej pożądane cechy pieczywa w praktyce piekarskiej stosuje się zabieg tworzenia mieszanek wypiekowych. Polega to na – oprócz wymieszaniu mąk pasażowych z przemiałów ziarna tego samego gatunku zboża, lecz o różnej wartości wypiekowej – łączeniu mąk powstałych z rozdrobnienia ziarna pszenicy i żyta. Komponowanie mieszanek wypiekowych najczęściej ma na celu zwiększenia w nich ilości białek glutenowych dla otrzymania z nich ciasta o elastycznym i niskorozpuszczalnym glutenie oraz zwiększenia zawartości w mieszanke udziału skrobi uszkodzonej i enzymów amylolitycznych do intensyfikacji fermentacji ciasta, a tym samym jej szybszego przebiegu i poprawy wydajności ciasta i pieczywa (Jakubczyk i Haber 1983, Gawęcki i Obuchowski 2016).

Tworzenie mieszanek wypiekowych mąk daje ponadto szerszy zakres możliwości produkcji różnych rodzajów pieczywa. Obecnie mieszanki mąki powstają nie tylko przez klasyczne

połączenie mąki pszennej o słabym i mocnym glutenie w cieście, czy wymieszanie w różnych proporcjach mąki pszennej i żytniej, ale także przez zastosowanie dodatku do mąki z ziarna pszenicy lub żyta produktów z przemiału ziarna zbóż niechlebowych. Są to najczęściej mąki z ziarna owsa i jęczmienia lub zbóż i pseudozbóż bezglutenowych (kukurydza, ryż, gryka, proso). Takie mieszanki dzięki zawartości mąki pszennej posiadają wysoką przydatność technologiczną, ale też ulepszoną wartość odżywczą (Kawka 2010, Czubaszek i in. 2011, Gawęcki i Obuchowski 2016).

Surowcami używanymi do produkcji pieczywa, oprócz mąki, są drożdże, sól i woda. Pomimo, że mają one mniejsze znaczenie niż mąka to są niezwykle ważne dla uzyskania chleba o pożądanych cechach.

Drożdże

Do wypieku pieczywa wykorzystuje się najczęściej drożdże piekarskie z gatunku *Saccharomyces cerevisiae*. Dostępne są one w formie świeżej, prasowanej lub suchej. Ich podstawowym zadaniem jest przeprowadzenie fermentacji alkoholowej w cieście chlebowym. W wyniku prowadzonego przez nie cyklu życiowego wytwarzany jest dwutlenek węgla, który rozciągając gluten powoduje powstanie charakterystycznej struktury ciasta.

Drożdże do rozmnażania się potrzebują tlenu, w trakcie tworzenia ciasta chlebowego ma to miejsce jedynie w momencie mieszania ciasta (wstępnego lub w trakcie tzw. „przebicia”). W trakcie fermentacji ciasta, będącej procesem beztlenowym, drożdże praktycznie się nie rozmnażają, a jedynie wytwarzają metabolity powodujące rozrost ciasta. Wyjątkiem jest chleb prowadzony metodą dwuetapową na zaczynie, gdzie drożdże mają dostateczny dostęp tlenu, aby się rozmnażać. Właściwa temperatura (30-35°C) ciasta jest niezwykle ważna dla pożądanej aktywności drożdży. Wraz ze spadkiem bądź wzrostem temperatury fermentacji ciasta aktywność życiowa komórek drożdżowych maleje. W zakresach 0-10°C i 47-55°C ich rozwój jest praktycznie znikomy, a temperatura 59-60°C jest punktem śmierci termicznej drożdży. W praktyce piekarskiej optymalny dodatek drożdży do ciasta chlebowego wynosi 3% w stosunku do masy mąki użytej do wypieku (Jakubczyk i Haber 1983, Hamelman 2018).

Sól

Dodatek soli w produkcji pieczywa jest niewielki w stosunku do masy chleba, lecz jest on niezwykle ważny i spełnia wiele istotnych funkcji. Pierwszą z nich jest nadanie smaku pieczywu. W praktyce piekarskiej optimum dodatku soli wynosi 1,5-2% masy mąki użytej do wypieku chleba. Wyjątkiem jest pieczywo na zakwasie, w którym dodatek soli wynosi od 1-1,5% masy

mąki, ponieważ kwaśne środowisko ciasta nadaje już wyrazisty smak. Sól to także składnik wzmacniający strukturę siatki glutenowej ciasta. Dodatek soli pozwala także pośrednio kontrolować przebieg fermentacji ciasta, gdyż osłabia on aktywność fermentacyjną drożdży. To spowolnienie działalności drożdży wpływa też pośrednio na właściwe wybarwienie skórki chleba (Hamelman 2018).

Woda

Bardzo ważnym składnikiem ciasta chlebowego jest woda. Spełnia ona wiele istotnych funkcji, a mianowicie:

- ✓ ma istotny wpływ na konsystencję ciasta,
- ✓ jest środowiskiem do wytworzenia glutenu w cieście pszennym,
- ✓ w niej rozpuszczają się pozostałe składniki, czyli sól i drożdże,
- ✓ jest niezbędna do fermentacji i rozmnażania się drożdży,
- ✓ odpowiada za osiągnięcie optymalnej temperatury ciasta (28°C) w trakcie powstawania ciasta i pierwszej fazy jego fermentacji.

W technologii piekarskiej największe znaczenie mają dwa wyróżniki jakości wody, a mianowicie jej twardość i kwasowość czynna (pH). Za najlepszą do produkcji pieczywa uważa się wodę o średniej twardości od 100 do 150 ppm. Z kolei pod względem kwasowości czynnej tj. ilości jonów wodorowych w roztworze do pieczenia chleba najkorzystniej użyć wody lekko kwaśnej o pH niższym niż 7 (Hamelman 2018).

1.4.2. Wytwarzanie ciasta chlebowego

Pierwszym etapem wytwarzania ciasta jest przygotowanie i odmierzenie ilości surowców tj. mąki, wody, drożdży, soli i ewentualnie cukru lub tłuszczu. Wszystkie składniki przeznaczone do przygotowania ciasta powinny mieć podobną temperaturę, co najmniej pokojową. Ilość dodawanych drożdży czy soli uzależniony jest od metody prowadzenia ciasta i jakości mąki. Zazwyczaj ich dodatek ma postać płynną – mleczka drożdżowego i solanki, ułatwiającej ich rozprowadzenie w całej masie mąki. Odważoną mąkę przed połączeniem z drożdżami i solą, należy przesiać przez sito dla jej napowietrzenia ułatwiającego tworzenie się ciasta oraz usunięcia ewentualnych zanieczyszczeń. Ostatnią czynnością jest odmierzenie potrzebnej ilości wody. W wyniku jej dodawania do mąki i ich stopniowego miesienia powstaje ciasto. Proces ten w dużej mierze uzależniony jest od jakości i rodzaju użytej mąki, gdyż inne postępowanie zaleca się do prowadzenia ciasta pszennego, a inne dla ciasta żytniego.

1.4.2.1. Metody prowadzenia ciasta pszennego

Początkiem jest faza wstępna, w której następuje połączenie wszystkich składników określonych recepturą w jednorodną masę. Pod wpływem dodatku wody i miesienia ciasta następuje tworzenie się i pęcznienie glutenu oraz stopniowe pęcznienie ziarenek skrobiowych. Fazę ciekłą ciasta tworzą natomiast rozpuszczone w niezwiązanej wodzie białka, śluzy, cukry, dekstryny i składniki mineralne. Miesienie ciasta powoduje dodatkowe jego napowietrzenie, wskutek czego ciasto zyskuje cechy układu polidispersyjnego, w którym obecne są trzy fazy: stała, ciekła i gazowa. Szkielet struktury ciast pszennych tworzy gluten, powstały z gliadyny i gluteniny w obecności wody. Do jego powstania konieczne jest spełnienie dwóch warunków. Pierwszy to dostarczenie takiej ilości wody dodanej do mąki do jego całkowitego uwodnienia. Drugim warunkiem jest dostarczenie do układu energii mechanicznej potrzebnej do wytworzenia ciasta pszennego. Miesienie ciasta powoduje też stabilizację struktury układu białkowego, co nadaje ciastu sprężystości i elastyczności. Optymalna elastyczność i rozciągliwość siatki glutenowej w cieście pszennym utrzymywana jest tylko przez pewien czas, określany jako tolerancja na miesienie i mierzony parametrem czasu stałości ciasta w analizie farinograficznej. Zbyt długie lub intensywne miesienie powoduje rozerwanie wiązań disulfidowych i pogorszenie właściwości reologicznych ciasta, co w badaniach farinograficznych określa parametr rozmiękczenia. Około 45% wody w cieście wiązana jest przez cząsteczki skrobi. Napęczniałe ziarna skrobiowe lokowane są we włóknach siatki glutenowej, tworząc tym samym strukturę ciasta pszennego (Jakubczyk i Haber 1983, Michniewicz i Makowska 2016, Hamelman 2018).

Proces tworzenia ciasta pszennego obejmuje także reakcje biochemiczne, które zachodzą głównie przy udziale enzymów zawartych w mące i drożdżach. Są to przede wszystkim procesy rozkładu białek i skrobi z mąki. Zwiększeniu ulega ilość substancji rozpuszczonych w fazie ciekłej ciasta, co powoduje pogorszenie jego właściwości fizycznych. Jednak miesienie ciasta ułatwia dostęp tlenu do tych składników i aktywację enzymów oksydacyjnych, czego konsekwencją jest utlenienie kompleksu białkowo – enzymatycznego prowadzące z kolei do poprawy cech fizycznych ciasta pszennego (Jakubczyk i Haber 1983, Michniewicz i Makowska 2016, Hamelman 2018).

Spulchnienie ciasta wywołują drożdże, w wyniku prowadzonej fermentacji alkoholowej. Powstający dwutlenek węgla zostaje zatrzymany w siatce glutenowej. Ilość gazu zatrzymanego w cieście jest uzależniona od jakości i ilości glutenu. Przy długotrwałym prowadzeniu fermentacji ciasta może dojść do całkowitego wyczerpania cukrów prostych, czyli pożywienia dla drożdży, co spowalnia ich rozmnażanie się i fermentację alkoholową. Taka sytuacja występuje m.in. przy zbyt

dużym nagromadzeniu się dwutlenku węgla i alkoholu w cieście. W celu zapobiegania takim przypadkom w prowadzeniu ciasta pszennego stosowane jest tzw. przebicie ciasta, czyli ponowne jego zagniatanie wykonywane standardowo po upływie połowy czasu fermentacji podstawowej. W ten sposób do drożdży dostarczana jest porcja tlenu i usunięty zostaje nadmiar ich metabolitów (Jakubczyk i Haber 1983, Michniewicz i Makowska 2016, Hamelman 2018).

Ciasto pszenne można przygotować na dwa sposoby, a mianowicie metodą bezpośrednią (jednofazową) i pośrednią (dwufazową). Metodę bezpośrednią poleca się do mąki o średniej jakości i polega ona na jednorazowym połączeniu wszystkich składników określonych recepturą pieczywa w jednorodną masę ciasta i poddaniu jej fermentacji. Fermentacja ta odbywa się w temperaturze od 28-32°C i wilgotności względnej powietrza na poziomie 80%. W jej trakcie przeprowadza się tylko jednorazowe kilkuminutowe ponowne zagniecenie ciasta (przebicie). Gotowe ciasto po fermentacji dzieli się na kęsy o określonej masie, poddaje końcowemu rozrostowi w warunkach identycznych jak fermentacja podstawowa ciasta i wypieka.

Metoda pośrednia prowadzenia ciasta pszennego jest polecana do mąki pszennej o wysokiej jakości wypiekowej. Prowadzenie tą metodą opiera się na wstępnym przygotowaniu tzw. rozczyну z części mąki (20-50% ogólnej ilości do wypieku), 2/3 wody dodawanej do mąki i całej ilości drożdży. Rozczyn ma zwykle luźniejszą konsystencję niż ciasto właściwe. Jego fermentacja przebiega w temperaturze 26-28°C w czasie od 3 do 3,5 godziny. Następnie do rozczyну dodawana jest pozostała ilość mąki, wody oraz cała ilość soli przewidzianych recepturą. Ciasto poddaje się miesieniu do uzyskania konsystencji jednorodnego ciasta właściwego. Jego fermentacja trwa w zależności od jakości mąki od 0,5 do 2,5 godziny. W jej czasie przeprowadza się jedno- lub dwukrotne przegnietanie ciasta, które następnie dzieli się na kęsy o określonej masie, poddaje rozrostowi końcowemu przez 20-30 minut i wypieka (Jakubczyk i Haber 1983, Michniewicz i Makowska 2016, Hamelman 2018).

1.4.2.2. Metody prowadzenia ciasta żytniego

Ciasto z mąki żytniej przygotowuje się inaczej niż ciasto pszenne, co przede wszystkim wynika z różnicy w proporcjach składników chemicznych w obu rodzajach mąk. Szczególnie duże różnice między mąką żytnią a pszenną występują z proporcji zawartości związków pentozanowych oraz składu jakościowego białek glutenowych. Ziarno żyta, a co za tym idzie także mąka żytnia zawiera dużo pentozanów, o dużej wodochłonności. Decyduje to o zwiększeniu wydajności ciasta żytniego w porównaniu z ciastem pszennym. Ponadto mąka żytnia zawiera więcej frakcji przemiałowej otrąb, co powoduje większą zawartość składników mineralnych, większą ilość cukrów prostych, co przyspiesza znacząco fermentację ciasta oraz większą ilość enzymów

amylolitycznych, co zwiększa lepkość ciasta, a co za tym idzie wilgotność i gumowatość miękiszu pieczywa (Michniewicz i Makowska 2016, Hamelman 2018).

Pod względem fizycznych właściwości ciasta z mąki żytniej są także inne niż ciasta z mąki pszennej. Faza ciekła jest bardziej lepka, znajdują się w niej ponadto większe ilości nie w pełni rozłożonych, ale napęczniałych cząsteczek białek, pentozany, dekstryny i pozostałe składniki mąki rozpuszczalne w wodzie. Ciasto żytnie jest bardziej lepkie, plastyczne, a mniej rozciągliwe i wytrzymałe na odkształcenia w porównaniu z ciastem pszennym. Obecność struktur glutenu w cieście żytnim nie jest tak trwała i silna jak typowa pszenna siatka glutenowa. To jest wynikiem niewystarczającej dostępności wody do jej stworzenia, co jest spowodowane dużą wodochłonnością pentozanów mąki żytniej. Pęcznienie substancji pentozanowych i lepkie środowisko ciasta żytniego ściśle uzależnione jest od odczynu ciasta. Zwiększenie kwasowości ciasta do poziomu pH 4,4-4,2 poprawia pęcznienie i peptyzację białek mąki, a także zmniejsza chłonność wody dodanej do ciasta przez śluzy. Wówczas łatwiej tworzy się siatka glutenowa w cieście oraz zyskuje ona na stabilności i elastyczności (Michniewicz i Makowska 2016).

Powstanie właściwie ukwaszonego ciasta żytniego wymaga obecności specyficznej mikroflory, różniącej się od tej obecnej w cieście pszennym. Zakwas żytni posiada specyficzny zespół bakterii fermentacji mlekowej i drożdży pochodzących z mąki. W zakwasie żytnim można zidentyfikować bakterie homofermentatywne wytwarzające tylko kwas mlekowy (*Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus leichmanii*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*) oraz bakterie heterofermentatywne wytwarzające oprócz kwasu mlekowego także dwutlenek węgla, kwas octowy, aldehydy, alkohol i inne (*Lactobacillus sanfrancisco*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermenti*, *Lactobacillus pastorianus*, *Lactobacillus buchneri*). Tak bogaty układ mikroorganizmów w cieście żytnim powoduje, że niemal jednocześnie zachodzą dwa rodzaje fermentacji beztlenowej, a mianowicie alkoholowa wywołana przez drożdże i mlekowa, w której biorą udział bakterie. Powstający w cieście żytnim dwutlenek węgla polepsza spulchnienie chleba, a kwas octowy nadaje pieczywu wyrazisty smak i aromat (Michniewicz i Makowska 2016).

Tradycyjna technologia produkcji pieczywa żytniego polega na wykorzystaniu tzw. zakwasów będących układami wytworzonych naturalnie bakterii kwasu mlekowego i drożdży z mąki poprzez zmieszanie odpowiedniej jej ilości z wodą. Stopniowe zwiększanie kwasowości ciasta zachodzi w kolejnych fazach fermentacji. Najbardziej znanymi metodami są: metoda trzyfazowa (zakwas, kwas, ciasto właściwe) i metoda pięciofazowa (zaczątek, przedkwas, półkwas, kwas, ciasto właściwe). Każda z faz fermentacji ciasta żytniego charakteryzuje się inną wydajnością fazy, temperaturą i czasem fermentacji. Wydajnością fazy określa konsystencję ciasta w tym etapie jego produkcji. Na proces fermentacji w cieście żytnim istotny wpływ ma

temperatura. Przy jej wyższych wartościach następuje szybsze zwiększenie kwasowości ciasta z wytworzeniem większych ilości kwasu mlekowego, a niższa temperatura to wolniejsze ukwaszanie i duża ilość kwasu octowego w masie ciasta. Wzajemny stosunek ilościowy obu kwasów określa cechy sensoryczne i jakość miękkiszu wyprodukowanego chleba. Czas fermentacji każdej fazy prowadzenia ciasta uzależniony jest od jej wydajności i temperatury oraz stopnia ukwaszenia ciasta (Michniewicz i Makowska 2016).

1.4.2.3. Metody prowadzenia ciasta mieszanego

Ciasta mieszane wytwarza się najczęściej z mieszanek mąki pszennej i żytniej w różnych proporcjach. Wyróżnia się następujące metody prowadzenia ciast mieszanych:

- ✓ prowadzenie rozczyntu pszennego i dodawanie mąki żytniej do ciasta,
- ✓ prowadzenie zakwasu żytniego i dodawanie mąki pszennej do ciasta,
- ✓ prowadzenie zakwasu i rozczyntu, a następnie łączenie tych półproduktów przy wytwarzaniu ciasta (Michniewicz i Makowska 2016).

Z racji wystąpienia w mieszance mąki żytniej są to najczęściej metody minimum dwufazowe i często z zakwaszeniem.

Według obecnych trendów w technologii piekarskiej mąkę pszenną lub żytnią łączy się z mąką zbóż niechlebowych (np.: owsianą) lub ze zbóż i pseudozbóż bezglutenowych (np.: kukurydzianą, gryczaną, jaglaną). Prowadzenie ciasta z takiej mieszanki mąk jest podobne do metod stosowanych przy wyrobie ciasta pszennego, lecz zmieniają się takie parametry jak: wydajność ciasta i czas fermentacji. Dla uzyskania pieczywa o korzystnym aromacie, smaku i objętości bochenka zaleca się zastosowanie metod wielofazowych.

1.4.3. Wypiek chleba

Ostatnim etapem produkcji pieczywa jest jego wypiek. Gotowe ciasto po rozroście końcowym w kęsach, trafia do pieca, gdzie pod wpływem działania wysokiej temperatury zmianie ulegają składniki chemiczne ciasta, a bochenki chleba nabywają charakterystycznych cech pieczywa.

Proces wypieku przebiega w dwóch fazach: zapiekania i wypieku właściwego, przy temperaturze komory wypiekowej na poziomie 200-250°C. W pierwszej fazie znaczna różnica pomiędzy temperaturą kęsa ciasta, a tą panującą wewnątrz komory wypiekowej oraz obecność nasyconej pary wodnej prowadzą do wzrostu ciśnienia gazów wewnątrz kęsa ciasta, co zwiększa jego objętość. Po kilku minutach nadmiar pary wodnej zostaje odprowadzony z komory wypiekowej, następuje ciągły wzrost temperatury, czego wynikiem jest powstawanie skórki na

powierzchni kęsa ciasta, co ogranicza przyrost jego objętości. Temperatura zwiększa się nie tylko na zewnątrz, ale też wewnątrz ciasta. W zakresie od 40-45°C obserwuje się wzmożoną aktywność drożdży i enzymów, co powoduje wzrost objętości kęsa. W temperaturze ok. 55°C następuje inaktywacja drożdży i rozpoczyna się pęcznienie skrobi. Dalszy jej wzrost do 60-80°C powoduje denaturację białek, co rozpoczyna proces kształtowania struktury miękiszu. Kęs ciasta traci też znaczną ilość wody. Powstała skórka bochenka nagrzewa się do temperatury 120-180°C i dzięki zachodzącym reakcjom nieenzymatycznego brązowienia zyskuje charakterystyczną ciemniejszą niż miękisz barwę oraz smak i aromat. W końcowej fazie wypieku wewnątrz miękiszu chleba temperatura osiąga wartość 95-98°C (Michniewicz i Makowska 2016, Hamelman 2018).

Przed wypiekiem na skalę przemysłową dużej ilości chlebów wykonuje się próbny wypiek dla ostatecznej oceny wartości wypiekowej używanej mąki i dobrania odpowiednich dla niej wartości parametrów prowadzenia ciasta i wypieku. Ze względu na miejsce prowadzenia wypieki próbne dzieli się na laboratoryjne i przemysłowe.

Wypiek laboratoryjny, jako że jest metodą badawczą prowadzony jest w ściśle określonych warunkach przygotowania ciasta i wypieku oraz przy stosowaniu dokładnie obliczonej ilości wszystkich składników. Na podstawie obserwacji etapów prowadzenia ciasta oraz oceny jakości uzyskanego pieczywa określa się wartość wypiekową badanej mąki.

Z metodycznego punktu widzenia dzieli się go na standardowy i optymalny. W metodzie standardowej receptura i warunki prowadzenia ciasta są ściśle wyznaczone i niezmiennie. W metodzie optymalnej dopuszcza się zmiany w recepturze i parametrach technologicznych, tak aby dostosować je do właściwości mąki, dla jak największej wydajności pieczywa. Wypiek ten dla mąki pszennej wykonuje się metodą bezpośrednią lub pośrednią przy zastosowaniu drożdży piekarskich. W przypadku mąki żytniej wypiek próbny wykonuje się metodą bezpośrednią z zakwaszeniem kwasem mlekowym i przy użyciu drożdży lub metodą pośrednią z dodatkiem kwasu mlekowego lub zakwasów. Gotowe, wystudzone pieczywo poddawane jest ocenie jakości. Obliczane są parametry procesu wypiekowego tj. wydajność ciasta, upiek, wydajność pieczywa oraz oceniane są cechy bochenków (kształt, barwa skórki, wygląd powierzchni) oraz objętość i jakość ich miękiszu (Jarosz 2016, Michniewicz i Makowska 2016).

Wypiek próbny przemysłowy odbywa się w konkretnych warunkach technicznych panujących w piekarni. Wykonywany jest dla ustalenia parametrów technologicznych wypieku wyrobów z nowej partii mąki, parametrów technologicznych dla nowego rodzaju wyrobów, strat wypiekowych dla produkowanych rodzajów pieczywa czy wydajności wytwarzanego asortymentu pieczywa. Do jego wykonania wykorzystuje się wyposażenie techniczne piekarni i powinien

przebiegach bez przestojów i zakłóceń poszczególnych etapów produkcji (Kownacki 2003, Jarosz 2016).

Wypiek właściwy przemysłowy jest już produkcją chleba na dużą skalę z zamiarem jego dystrybucji w handlu detalicznym. Piekarnie najczęściej dobierają potrzebny do wypieku rodzaj pieca na podstawie: produkowanego asortymentu pieczywa, pozostałych urządzeń służących do przygotowania pieczywa, zdolności produkcyjnej piekarni, organizacji produkcji czy możliwości finansowych właściciela. Dobry piec piekarski niezależnie od jego rodzaju powinien się szybko nagrzewać, mieć szeroki zakres regulacji temperatury, optymalną powierzchnię wypiekową, możliwość łatwego załadunku kęsów ciasta i rozładunku bochenków oraz jego zużycia energii. Metoda wypieku produkowanego asortymentu pieczywa może być podobnie jak przy wypieku próbnym bezpośrednią lub pośrednią według wówczas dobranych parametrów do jakości mąki, tak aby wydajność ciasta i pieczywa była wysoka, a straty wypiekowe jak najniższe (Jarosz 2016).

1.5. Potencjał pieczywa w produkcji żywności funkcjonalnej

Żywność wykazująca charakterystyczne i przewidywane korzystne efekty dla zdrowia i witalności organizmu nosi nazwę „żywności funkcjonalnej”. Według europejskiego prawodawstwa (Europejski Konsensus Naukowej Koncepcji, 1999) za żywność funkcjonalną (ang. Functional Food Science in Europe, FUFOSSE), uznaje się:

- żywność, w której obok składników odżywczych znajdują się substancje o udowodnionym, korzystnym wpływie na jedną lub więcej funkcji organizmu, co związane jest z poprawą zdrowia, samopoczucia oraz/ lub zmniejszeniem ryzyka chorób,
- żywność, która wykazuje dobroczynne działanie i posiada prozdrowotne właściwości w odpowiedniej ilości, znajdującej się w danym produkcie gotowym dostępnym na rynku,
- żywność w postaci naturalnej, nie będąca postacią tabletki bądź kapsułki,
- żywność konwencjonalna, będąca częścią normalnej diety,
- żywność o zwiększonym stężeniu bioaktywnych składników lub produkowana z dodatkiem takich składników,
- żywność posiadająca specjalne oświadczenia żywieniowe oraz zdrowotne poparte badaniami naukowymi, łącznie z zastosowaniem odpowiednich biomarkerów, charakterystycznych dla określonego procesu przemian lub funkcjonowania narządu (Diplock i in. 1999, Bellisle i in. 1998).

Takim produktem spożywczym jest pieczywo, będące dominującym produktem zbożowym diety człowieka. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego spożycie miesięczne pieczywa maleje z roku na rok. W roku 2015 wynosiło 3,74 kg/osobę/miesiąc, a w 2020 r. jest to zaledwie

2,75 kg/osobę/miesiąc (Baza Danych Lokalnych na rok 2015 i 2020, Główny Urząd Statystyczny, Ciecierska i in. 2018, Żakowska-Biemans i in. 2018). U naszych południowych sąsiadów (Republika Czeska) także nie jest lepiej, w 2016 roku spożycie pieczywa wynosiło 3,31 kg/osobę/miesiąc (Strachotova i in. 2018). Jednak nie zmienia to faktu, że pieczywo jest jednym z głównych źródeł podaży węglowodanów (60% podaży w diecie) czyli podstawowych składników energetycznych zawartych w żywności (38% dziennego zapotrzebowania na energię). Dodatkowo spożycie pieczywa mieszanego i pełnoziarnistego zaopatruje organizm człowieka w witaminy m.in. z grupy B, witaminę E, szereg składników mineralnych np. żelazo oraz błonnik pokarmowy, co jest bardzo istotne w przypadku zapobiegania chorobom dietozależnym np. układu krążenia, cukrzycy, otyłości (Borowska i in. 2011, Ceglińska 2017, Kourkouta i in. 2017, Kozłowska-Strawska i in. 2015, Kawka i in. 2015).

Coraz większe zainteresowanie konsumentów walorami zdrowotnymi pieczywa zmusiło producentów do udoskonalania już tak dobrze znanej technologii wypieku chleba i ciągle poszukiwanie nowych rodzajów mieszanek mąk lub dodatków do wypieku. Pozwala to zaliczyć także pieczywo do szerokiej gamy żywności funkcjonalnej, co potwierdzają takie przykłady rodzajów jego asortymentu jak: pieczywo niskosodowe, pieczywo wzbogacone wapniem, pieczywo wzbogacone białkiem, pieczywo wysokobłonnikowe, pieczywo o niskim indeksie glikemicznym (Kowalska i in. 2012, Jeżewska-Zychowicz i Kowalczyk 2016, Fraś i in. 2022).

Badania rynku dodatkowo pokazują, że konsumenci są pozytywnie nastawieni i wykazują większą chęć zrobienia zakupów, jeśli na produkcie są przedstawiane informacje o jego zdrowotnych właściwościach (na podstawie specjalnego orzeczenia żywieniowego) i wartości odżywczej (której podanie jest obowiązkowe dla produktów żywnościowych) (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 z 25.10.2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności). Są oni w stanie zrezygnować z produktu o atrakcyjnym wyglądzie, wysokiej smakowitości lub niskiej cenie, w zamian za otrzymanie wyrobu gotowego korzystnie wpływającego na zdrowie, który jest często droższy (Coles i in. 2012, Jeżewska-Zychowicz i Kowalczyk 2016, Sajdakowska i in. 2019, Mielczarek i in. 2020). Tak duże zainteresowanie zdrową żywnością skłania jej producentów do tworzenia nowych wariantów już dobrze znanych produktów spożywczych. W odniesieniu do jakości pieczywa producenci starają zaspokoić wymagania konsumentów w stosunku do następujących cech pieczywa: smak i zapach (52,9%), wygląd zewnętrzny (32,4%), skład recepturowy (23,5%) i wartość prozdrowotna (20,6%). Tak duży procentowy wpływ wartości prozdrowotnej na wybór pieczywa przez konsumentów spowodował zastosowanie do jego produkcji m.in. suplementacji mąki pszennej produktami z ziarna zbóż niechlebowych (owies, jęczmień), dodatek do mieszanek

wypiekowych nasion pseudozbóż (gryka, komosa ryżowa, amarantus), dodatek nasion roślin strączkowych dla poprawy składu aminokwasowego chleba oraz dla poprawy jakości sensorycznej – dodatek nasion dyni, słonecznika, lnu, świeżych lub suszonych ziół, a także świeżych lub suszonych owoców i warzyw (Rajewska i Lesiów 2015, Pielak i in. 2018, Fraś i in. 2022).

1.5.1. Surowce niekonwencjonalne w produkcji pieczywa

Obecnie do produkcji pieczywa wykorzystywane są surowce niekonwencjonalne wpływające na wzrost wartości prozdrowotnej tego produktu. Chleb powstaje już nie tylko z mąki pszennej czy żytniej, ale także z mąki zbóż niechlebowych (owies, jęczmień, kukurydza, ryż) lub mąk bezglutenowych z nasion pseudozbóż takich jak: gryka, proso, komosa ryżowa czy amarantus. Coraz częściej spotyka się także chleb powstały z mąki z nasion roślin strączkowych.

Ziarno zbóż niechlebowych (m.in. owies i jęczmień) i nasiona pseudozbóż czy roślin strączkowych oraz mąka z nich uzyskana cechują się mniejszą zawartością sacharydów, zwłaszcza skrobi w porównaniu do ziarna pszenicy czy żyta. Posiadają natomiast więcej nieskrobiowych polisacharydów (np. β -glukany, pentozany w ziarnie owsa i jęczmienia) stanowiących istotne pod względem żywieniowym frakcje błonnika pokarmowego. Mąka z tych surowców to także bogate źródło witamin z grupy B i tokochochromanoli oraz innych przeciwutleniaczy. Użycie takiej mąki do produkcji pieczywa czyni je polecany w zaburzeniach układu pokarmowego i krwionośnego, przy zaburzonej gospodarce lipidowej organizmu lub w cukrzycy dietozależnej. Dodatkowo surowce te nie zawierają białek glutenowych lub proporcje ich frakcji są zmienione, co sprawia, że mogą być spożywane przez chorych na celiakię lub nadwrażliwości na gluten. Wartość biologiczna białek ziarna, a następnie mąki zbóż niechlebowych jest także znacznie wyższa ze względu na znaczny udział aminokwasów egzogennych (w ziarnie owsa stanowią 41% składu białka). Skład lipidów mąki z surowców niekonwencjonalnych w piekarstwie jest także korzystniejszy w porównaniu do mąki pszennej, białej. Posiadają one ok. 3-5-krotnie wyższą ilość lipidów, a w ich składzie znajdują się przede wszystkim kwasy mono- i polienowe (palmitynowy, oleinowy, linolowy), zwłaszcza niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (Diowks 2010a, Diowks 2010b, Kępińska-Pacelik i Biel 2021).

W technologii produkcji pieczywa mąka czy inne produkty z ziarna zbóż i nasion roślin niechlebowych są standardowo stosowane jako dodatki funkcjonalne do ciasta pszennego lub żytniego. Ze względów technologicznych w produkcji przemysłowej chleba bochenkowego powyższe produkty o swoistym składzie frakcji białek (brak lub mała zawartość białek glutenowych) mogą być stosowane tylko w mieszance z mąką chlebową. Zwiększenie ilości

w cieście mąki ze zbóż lub nasion niechlebowych zmienia właściwości fizyczne ciasta. Zwłaszcza znacznie podnosi wodochłonność mieszanki mąki, ale także zmienia wskaźniki farinograficzne (wydłuża czas rozwoju i czas stałości ciasta, zmniejsza rozmiękczenie). Ich zastosowanie zwiększa elastyczność ciasta, jego wydajność i tolerancję na wahania czasu fermentacji. Udział mąki lub innych produktów z zbóż niechlebowych czy nasion pseudozbóż przekraczający 50% ilości w mieszance z mąką pszenną powoduje zmniejszenie objętości pieczywa, na skutek mniejszej zdolności do wytwarzania i zatrzymywania gazów w cieście, zmian zachodzących w układzie białkowym oraz obecności polisacharydów nieskrobiowych. Prawdopodobnie jest to efekt związany ze wzrostem białek rozpuszczalnych i frakcji azotu niebiałkowego, a obniżeniem ilości prolamin, bądź zachodzeniu niekorzystnych reakcji powodujących spadek zdolności zatrzymywania gazów. Te zmiany jakości ciasta i pieczywa są niwelowane przez dodatek glutenu witalnego, hydrokoloidów (np. pektyna, agar, guma guar) czy naturalnych emulgatorów (np. lecytyna) (Kawka 2010).

Mąka z surowców niekonwencjonalnych coraz częściej wykorzystywana jest także w produkcji pieczywa na zakwasie. Zastosowanie naturalnych zakwasów w piekarstwie ma nie tylko dużo korzyści dla technologii produkcji, ale też znacząco poprawia wartość odżywczą gotowego chleba. Wstępne ukwaszanie zawiesiny mąki i wody sprzyja utrzymaniu w trakcie wypieku takich związków jak np.: kwas foliowy, biosterole, β -glukany oraz zwiększa ilość kwasu mlekowego i dostępność makro- i mikroskładników. Kwaśne środowisko zakwasu sprzyja gromadzeniu się większej ilości m-izonytolu powstającego z rozkładu fitynianów i zwiększa rozpuszczalność związków magnezu i fosforu, a także sprzyja usuwaniu związków o charakterze kancerogennym. Pieczywo powstałe z udziałem zakwasu jest także bogatym źródłem witamin (z grupy B) i aminokwasów egzogennych (lizyna, tryptofan, metionina). Konsumenci wybierają ten rodzaj chleba ze względu na jego dłuższą trwałość i wyjątkowe walory smakowo – zapachowe (Kot 2007, Diowks 2010a, Diowks 2010b, Kawka 2010).

Pieczywo na zakwasie z mąk z ziarna zbóż lub nasion roślin niechlebowych pod względem technologicznym także wykazuje lepsze cechy jakości niż ten sam produkt wytwarzany metodą wypieku bezpośredniego. Przede wszystkim wydłużona fermentacja podstawowa w co najmniej dwóch fazach prowadzenia ciasta sprawia, że gotowy chleb ma porównywalną objętość bochenka i porowatość miękiszu, co jego pszeny odpowiednik. Te cechy oprócz bogatej wartości odżywczej dodatkowo zachęcają konsumenta do zakupu tego rodzaju pieczywa funkcjonalnego (Kot 2007, Diowks 2010a, Diowks 2010b, Kawka 2010).

1.5.2. Wzbogacanie pieczywa i jego rola w żywieniu człowieka

Spożycie produktów zbożowych, w tym pieczywa, jest jednym z najłatwiejszych sposobów zapewnienia organizmowi człowieka związków odżywczych, przede wszystkim składników energetycznych – węglowodanów, a oprócz tego także pewnej ilości białka, substancji mineralnych czy witamin (m.in. z grupy B, A i E). Dla zwiększenia oferty asortymentu pieczywa dostępnego na rynku oraz podniesienia wartości odżywczej tego rodzaju żywności stosowane są m.in. innowacje w zakresie procesu produkcji bądź wzbogacenie receptury chleba. Częstym zabiegiem technologicznym jest dodatek do mąki chlebowej pszennej lub żytniej całych ziaren lub nasion bądź mąki ze zbóż niechlebowych lub nasion pseudozbóż (owies, jęczmień, gryka, amarantus) i nasiona roślin oleistych. Podnoszą one zawartość błonnika pokarmowego, nienasyconych kwasów tłuszczowych z grupy omega-3 (ω -3) i omega-6 (ω -6) oraz związków antyoksydacyjnych. Pieczywo takie jest także mniej kaloryczne. Z punktu widzenia konsumenta dbającego obecnie bardzo o swoje zdrowie, powyższe zabiegi technologiczne zachęcają do wyboru takiego rodzaju pieczywa (Dziki i in. 2014, Kozłowska-Strawska i in. 2015).

Wzbogacanie żywności ma trzy podstawowe funkcje, tj.: wyrównawczą, interwencyjną i polepszającą. Wzbogacanie żywności w sensie „wyrównawczym” ma na celu uzupełnienie składników odżywczych, które mogły być utracone w trakcie procesu produkcyjnego, np. w trakcie przemiału ziarna zbóż na mąkę jasną, niskowyciągową. Wzbogacanie „interwencyjne” ma za zadanie zwiększenie zawartości składników, które naturalnie występują w niewielkich ilościach, ale są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka. Natomiast wzbogacanie w sensie „polepszającym” polega na zwiększeniu substancji odżywczych w produkcie, dzięki takim zabiegom gotowe pieczywo lub inna żywność zyskuje cechy tej nieprzetworzonej. Dodatkowo wzbogacanie żywności często sprzyja poprawie jej cech organoleptycznych (smaku, zapachu, wyglądu zewnętrznego). Takie same cele przyświecają także wzbogacaniu pieczywa, m.in. dla poprawy jego przyswajalności i jednoczesnym zwiększeniu ilości składników mineralnych, czy błonnika pokarmowego (Ustawa z 25.08.2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia (DZ.U. z 2017 r., poz. 60 i 149), Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 16.09.2010 r. w sprawie substancji wzbogacających dodawanych do żywności (DZ.U. z 2010 r., poz. 1184)).

W wielu przypadkach innowacyjne pieczywo staje się produktem opracowanym na potrzeby stosowania w diecie osób chorych lub jako czynnik prewencyjnych chorób cywilizacyjnych. Wzbogacany chleb może być ważnym składnikiem diety dla cierpiących na choroby takie jak np.: cukrzyca (pieczywo wysokobłonnikowe, wysokobiałkowe), celiakia (pieczywo bezglutenowe),

anemia (pieczywo wzbogacane w żelazo), uremia (pieczywo skrobiowe, niskosodowe), czy nadciśnienie tętnicze (pieczywo niskosodowe). Szczególnie korzystna dla zdrowia jest suplementacja codziennej diety o żywność w tym pieczywo bogate antyoksydanty (Szawara-Nowak 2013).

W ostatnich latach zainteresowaniem naukowców i producentów pieczywa stało się wzbogacanie głównie chleba w przyprawy, zioła i zielone części roślin. Dotyczy to głównie chleba z mąk jasnych, niskowyciągowych, które w trakcie przemiału tracą większość prozdrowotnych substancji zlokalizowanych w ziarnie w znacznej ilości w jego zewnętrznych częściach. Dodatek liści, łodyg, korzeni lub całych roślin i ziół wzbogaca pieczywo w dodatkową porcję składników mineralnych, przeciwutleniaczy, błonnika pokarmowego, czy olejków eterycznych. Badania prowadzone nad dodatkiem do chleba liofilizowanych zielonych części gryki, czosnku, bazylii, korzenia imbiru i kurkumy udowodniły poprawę wartości prozdrowotnej pieczywa pszennego, pomimo pogorszenia się ogólnej jakości. Taki chleb wymaga innego sposobu prowadzenia ciasta i wypieku niż standardowe pieczywo (Dziki i in. 2014). Przy zastosowaniu dodatku proszku z czosnku ogólna zawartość polifenoli w chlebie zwiększyła się z 0,18 do 0,22 mM kwasu galusowego/100 g pieczywa, a dla dodatku proszku ze słodkiej bazylii, było to o 0,10 mM kwasu galusowego/100 g pieczywa (Raba i in. 2007). Balestra i in. 2011, którzy do wzbogacenia chleba pszennego użyli proszku z korzenia imbiru zanotowali wzrost zawartości polifenoli ogółem w miększu i skórce do wartości odpowiednio 0,48 i 0,71 mg kwasu galusowego/100g suchej masy pieczywa. Dodatek tej przyprawy na poziomie 3% wykazał pozytywny wpływ na cechy reologicznych ciasta, co było powodem uzyskania pieczywa dobrej jakości i akceptowalnych przez konsumentów cechach sensorycznych. Podobne zależności uzyskali Sikkhamondhol i in. 2009 oraz Lim i in. 2011 dla udziału proszku z kurkumy w masie mąki przy produkcji chleba pszennego. Dane literaturowe dowodzą także, że udział innych półproduktów pochodzenia roślinnego do pieczywa znacząco wpływa na ochronę komórek organizmu człowieka przed działaniem wolnych rodników oraz wzmacnia układ pokarmowy w jego kształtowaniu odporności całego ustroju. Badania te dotyczyły proszku ze skórki cebuli (Gawlik-Dziki i in. 2013) i zielonej kawy (Glei in. 2006). Zainteresowaniem naukowców przy wzbogacaniu produktów zbożowych, w tym pieczywa były ponadto bogate w antyoksydanty i błonnik pokarmowy surowce owocowo-warzywne i produkty uboczne m.in. po produkcji soków. Wykazano, że zagospodarowanie wytlóków np. z czarnej porzeczki, granatu, jabłka czy marchwi do wzbogacenia pieczywa w znaczący sposób przyczynia się do zwiększenia jego wartości odżywczej, bez utraty ich akceptowalności sensorycznej (Filipcev i in. 2010, Sivam i in. 2012, Altunkaya i in. 2013).

Trudnością w wzbogacaniu pieczywa w związki biologicznie aktywne jest ich utrata w trakcie wypieku, gdyż związki te są niestabilne termicznie. Dotyczy to w szczególności witamin. Prowadzone przez wielu autorów badania dowodzą jednak, że proces fermentacji ciasta w istotny sposób dodatnio wpływa na zachowanie związków biologicznie aktywnych wzbogacanego pieczywa. Zmiana w układzie wiązań ich cząsteczek pod wpływem łączenia się z produktami fermentacji alkoholowej lub mlekowej w trakcie rozrostu ciasta zabezpiecza je przed niekorzystnym działaniem wysokiej temperatury w trakcie wypieku (Dziki i in. 2014). Produkty reakcji Mailarda w skórce chleba (melanoidyny), także zalicza się do związków prozdrowotnych. Według danych literaturowych ich korzystne działanie na organizm człowieka opiera się na wiązaniu w przewodzie pokarmowych szkodliwych substancji i przez to zmniejsza się narażenie na związki mutagenne i rakotwórcze (Somoza i in. 2005, Borelli i in. 2003, Gelinas i in. 2006).

Możliwości wzbogacania pieczywa przetworami z buraka ćwikłowego

Burak ćwikłowy (*Beta vulgaris* L.) to roślina dwuletnia, będąca po marchwi najchętniej uprawianym warzywem w Polsce (Baza Danych Lokalnych na 2020 r., Główny Urząd Statystyczny), której podstawową częścią jadalną jest korzeń spichrzowy. U odmian wczesnych jadalne są także młode liście i łodygi zwane potocznie botwinką. Kształt korzenia i jego wielkość jest zmienna w obrębie odmiany tego warzywa. Może przybierać formy kuliste, spłaszczone, elipsoidalne, wydłużone lub owalne. Z punktu widzenia botanicznego budowa wewnętrzna korzenia buraka jest inna niż u większości roślin korzeniowych. W części podliścieniowej i w samym korzeniu powstaje w zależności od odmiany kilka pierścieni tkanki twórczej (kambium) i odkładanych przez nie pierścieni tkanki sitowo-naczyniowej. Do przetwórstwa najbardziej pożądane są korzenie o jednolitym, ciemnopurpurowym zabarwieniu, zasobne w duże ilości barwników betalainowych. Barwa skórki korzenia buraka ćwikłowego może przyjmować kolor od krwistoczerwonego do fioletowo czerwonego i bywa maskowana tkanką korkową. Miąższ korzenia w zależności od ułożenia pierścieni tkanek przybiera barwę od jaskrawoczerwonej do ciemnopurpurowej. Najpopularniejszymi przetworami z korzenia buraka ćwikłowego są: koncentrat, ćwikła, sok, mrożonki czy konserwy. Najlepsze do tego celu są odmiany o jednolitym zabarwieniu korzenia, kulistym lub wydłużonym kształcie i średnicy od 4 do 8 cm (np. odmiany: *Bikores*, *Czerwona Kula*, *Nochowski Okrągły Ciemnoczerwony*, *Opolski, Polglob F1*) (Świetlikowska i in. 2008, Rojek-Ledwoch 2018). Coraz częściej z korzenia buraka ćwikłowego przygotowuje się także proszek, czyli wygodny dodatek do koktajli, napojów, ale też ciast czy pieczywa. Często stosowany jest jako barwnik naturalny, ale jak udowodnili Rawana i in.

2016 ma to wpływ także na parametry technologiczne procesu wytwarzania produktu wzbogaconego o tę formę przetworu z korzenia buraka ćwikłowego.

Jest to warzywo korzeniowe uważane za pokarm promujący zdrowie ze względu na obecność podstawowych składników istotnych dla odżywienia organizmu takich jak witaminy, minerały, fenole, karotenoidy, azotany, kwas askorbinowy i betalainy (Chhikara i in. 2018). Polifenole, karotenoidy i witaminy z korzeni buraków ćwikłowych pełnią rolę przeciwutleniacza, jednocześnie wykazując właściwości przeciwmarszczkowe, przeciwwzkrzepowe, przeciwrakowe i hepatochronne, a także wspomagają leczenie cukrzycy, chorób układu krążenia, nadciśnienie tętnicze oraz przyspieszają gojenie się ran (Slavov i in. 2013, Zamani i in. 2021). Konsumpcja głównie korzeni buraków i produktów z nich wykonanych np. ćwikła czy sok, stale wzrasta ze względu na świadomość konsumentów dotyczącą bioaktywnych składników tego warzywa, a przede wszystkim ze względu na wysoką wartość odżywczą oraz jako ważne źródło antyoksydantów.

Buraki ćwikłowe są zasobne zwłaszcza w węglowodany (9,5%), wśród których dominuje sacharoza (70% całkowitej ilości węglowodanów). Z pozostałych składników odżywczych na uwagę zasługuje duża ilość potasu (348 mg/100 g) i żelaza zawarta w korzeniu spichrzowym (Rojek-Ledwoch 2018, Kulczyński i Gamza-Michałowska 2022). Cechuje ich nieco niższa zawartość białka (1,68 g/100 g) oraz tłuszczu (0,18 g/100 g) (Agarwal i in. 2014). W 100 g porcji jadalnej zawierają znaczną ilość aminokwasów, do których zalicza się m.in.: leucynę (0,068 g), lizynę (0,058 g), walinę (0,056 g), alaninę (0,060 g), kwas glutaminowy (0,428 g), kwas asparaginowy (0,116 g) i serynę (0,059 g) (Nemzer i in. 2011). Nasycone kwasy tłuszczowe w buraku ćwikłowym stanowią 0,027 g, jednonienasycone – 0,032 g, wielonienasycone kwasy tłuszczowe – 0,060 g, natomiast fitosterole występują w ilości 25 mg na 100 g świeżej masy (Amerykański Departament Rolnictwa 2014). W składzie *Beta vulgaris* L. można znaleźć wiele witamin, m.in: witamina A (2 µg), tiamina (0,31 mg), ryboflawina (0,27 mg), niacyna (0,313 mg), kwas pantotenowy (0,145 mg), witamina B6 (0,067 mg), kwas askorbinowy (3,6 mg), kwas foliowy (80 µg) w 100 g świeżej masy (Yashwant 2015, Guldiken i in. 2016, Kulczyński i Gamza-Michałowska 2022).

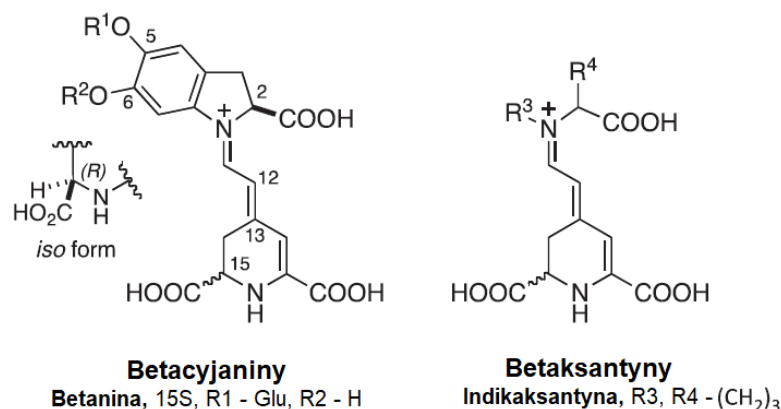
Burak ćwikłowy zawiera dużą ilość związków fenolowych (50-60 µmol/g s.m.) oraz flawonoidów (Kathiravan i in. 2014), a jego skórka zawiera ich dwukrotnie więcej niż miąższ korzenia. *Beta vulgaris* L. bogaty jest w kwas hydroksybenzoesowy (0,012 mg/g), pochodne kwasu hydroksycynamonowego, kwas chlorogenowy (0,018 mg/g), kwas kawowy (0,037 mg/g), oraz epikatechinę (0,032 mg/g) i hydratkatechiny (0,047 mg/g) (Maraie i in. 2014). Flawonoidy są biologicznie czynnymi związkami o dobrym działaniu przeciwutleniającym i licznych korzyściach

zdrowotnych (Chhikara i in. 2019b). Vulic i in. 2014 podali, że główne klasy flawonoidów będące składnikami korzeni buraków ćwikłowych to: betagaryna, betawulgolina, klioofilolem A i dihydroizoramnetyna. Inne związki flawonoidowe wykryte w korzeniach buraków to: 3,5-dihydroksy-6,7-metylenodioksyflawanon, 5-hydroksy-6,7-metylenodioksoflokone, 2,5-dihydroksy-6 i 7-metylenodioksyizoflawon (Lim 2016, Clifford i in. 2015). Ten zestaw związków bioaktywnych korzeni buraków ćwikłowych wykazuje właściwości przeciwnowotworowe, przeciwnadciśnieniowe, odtruwające, przeciwutleniające, przeciwgorączkowe, przeciwbakteryjne i moczopędne (Wang i in. 2014, Zamani i in. 2021).

Produkty z buraka ćwikłowego można także uznać za najtańszy i jeden z najskuteczniejszych suplementów dla sportowców, ze względu na zawarte w korzeniu azotany zwiększające syntezę tlenu azotu, który może modyfikować funkcję tkanki mięśniowej za pomocą regulacji przepływu krwi, kurczliwości, pracy mitochondriów komórek mięśniowych oraz równowagę stężeń glukozy i wapnia (Rojek-Ledwoch 2018). Z tej szerokiej gamy związków wpływających na działanie prozdrowotne korzenia buraka ćwikłowego najbardziej rozpowszechnione są w nim substancje barwiące, a mianowicie betalainy.

Barwniki betalainowe

Betalainy są rozpuszczalnymi w wodzie azotowymi pigmentami roślinnymi, najobficiej występujące w korzeniu buraka ćwikłowego. Budowa betalain determinuje ich barwę, a składają się z dwóch frakcji: betacyjaniny (czerwony pigment) i betaksantyny (żółty pigment), z której wyróżniono wulgaksantynę-I i wulgaksantynę-II. W tych obu frakcjach występuje ten sam układ chromoforowy, którym jest kwas betalainowy o żółtej barwie. W wyniku kondensacji kwas ten łączy się z cząsteczką cyklo-DOPA (3,4-dihydroksyfenyloalanina), co powoduje wydłużenie układu sprzężonych wiązań podwójnych i ostatecznie daje fioletową betanidynę. Takie wydłużenie łańcucha nie występuje w przypadku żółtych betaksantyn, w przypadku których kwas betalainowy łączy się tylko z aminokwasem lub aminą (Czapski i in. 2015, Ravichandran i in. 2013).



Rysunek 1. Struktury chemiczne barwników betalainowych (Goncalves i in., 2012)

W korzeniu buraka ćwikłowego głównym betacyjanem jest betanina i izobetanina stanowiące około 78% ich ogólnej ilości, która waha się od 30 do 300 mg w 100g świeżej masy. Również ilość betaksantyn w korzeniach buraka ćwikłowego jest zmienna w granicach od 20-140 mg/100 g ś.m. Zawartość tych barwników oraz ich zdolność przeciwutleniająca zależą w głównej mierze od odmiany warzywa, ale też warunków uprawy oraz wielkości i części korzenia. Barwniki betalainowe są dobrze rozpuszczalne w wodzie, lecz należą do związków wymagających specjalnych warunków, szczególnie wrażliwych na pH środowiska oraz zbyt wysoką temperaturę. W związku z czym dla żywności bogatej w betalainy należy unikać stosowania długotrwałej obróbki termicznej. Jednak przy krótkotrwałym ogrzewaniu możliwa jest ponowna resynteza zwłaszcza betaniny z glukozydu cyklo-DOPA i kwasu betalainowego, co zależne jest w głównej mierze od stężenia początkowego betaniny, stosowanej temperatury i pH środowiska. Największą stabilność tych związków obserwuje się w przedziale pH od 4,0 do 6,0 (Klewicka 2012, Czapski i in. 2015).

Szczególnie korzystne dla ochrony barwników betalainowych jest stosowanie w przetwórstwie korzeni buraków ćwikłowych procesów fermentacji mlekowej. Pomimo, że w wyniku obniżenia pH i enzymatycznej aktywności bakterii betacyjany ulegają przemianom to jednak, jak udowodnili Czyżowska i in. 2006 oraz Rakin i in. 2007 proces fermentacji mlekowej odpowiednią kulturą bakterii pozwala aż w 75% zachować te barwniki w stosunku do ich zawartości w surowcu. Fermentacja zmienia także profil betacyjanin, gdyż w fermentowanych sokach oprócz betaniny i izobetaniny stwierdzono obecność ich aglikonów głównie betanidyny i izobetanidyny, także wykazujących aktywność przeciwutleniającą (Klewicka 2012, Sawicki i Wiczowski 2018). Stwarza to szansę na wykorzystanie korzenia buraka ćwikłowego i jego zdrowotnych właściwości np. w technologii piekarstwa dla polepszenia wartości prozdrowotnej chleba czy innych wyrobów piekarniczych.

Betalainy, pomimo niskiej przyswajalności w układzie pokarmowym człowieka, nawet w bardzo małej ilości rzędu kilkunastu mikrogramów, mają szerokie spektrum działania terapeutycznego, przeciwnowotworowego i właściwości hepatoprotekcyjnych. Wykazano, że te barwniki mogą blokować proliferację komórek różnych ludzkich nowotworów, a w szczególności płuc i skóry. Funkcją betalain jest zmniejszenie stężenia homocysteiny w krwi, która reguluje homeostazę naczyniową, utrzymuje czynność płytek krwi, aktywność zakrzepową, napięcie naczyniowe podczas rozszerzania i zwężania naczyń krwionośnych (Chhikara i in. 2019b, Klewicka 2012, Wootton-Beard i in. 2011).

Omówione, szerokie działanie tych barwników korzenia buraka ćwikłowego, bardzo chętnie spożywanego w naszym kraju, czyni go cennym źródłem związków pozytywnie wpływających na organizm człowieka. Warzywo to można spożywać nie tylko jako samodzielny produkt, ale także w różnych postaciach półproduktów (np. sok, wytloki, proszek), które wykorzystywane są do stworzenia wzbogacanej żywności. Dobrą matrycą do takiego działania są produkty zbożowe, w tym szczególnie pieczywo.

2. Hipotezy badawcze

Na podstawie przeprowadzonej analizy aktualnego stanu wiedzy, w obszarze tematyki pracy oraz wcześniej przeprowadzonych prac wstępnych, sformułowano główne hipotezy pracy doktorskiej:

1. Rodzaj i wielkość udziału w recepturze wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego istotnie wpływa na parametry fermentacji ciasta pszennego, pszenno-żytniego oraz pszenno-owsianego.
2. Rodzaj i wielkość udziału w recepturze wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego istotnie wpływa na aktywność amylolityczną użytej do wypieku mąki pszennej oraz jej mieszanek wypiekowych z mąką żytnią i owsianą.
3. Rodzaj i wielkość udziału w recepturze wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego istotnie wpływa na właściwości reologiczne ciasta oraz jakość otrzymanego z niego chleba pszennego, pszenno-żytniego oraz pszenno-owsianego.
4. Rodzaj i wielkość udziału w recepturze wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego istotnie zwiększa wartość prozdrowotną otrzymanych chlebów poprzez wzrost w nich zawartości związków biologicznie aktywnych, w tym barwników betalainowych.
5. Rodzaj i wielkość udziału w recepturze wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego istotnie wpływa na cechy organoleptyczne otrzymanego chleba pszennego, pszenno-żytniego oraz pszenno-owsianego.

3. Cel i zakres pracy

Głównym celem niniejszej pracy doktorskiej było określenie wpływu zastosowanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego w postaci soku, wyciągów oraz proszku (лиофилizat) na właściwości technologiczne, prozdrowotne i organoleptyczne chleba pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego.

Do osiągnięcia celu głównego sformułowano następujące cele szczegółowe:

1. Wykazanie oraz określenie charakteru wpływu w recepturze dodatków z korzenia buraka ćwikłowego na jakość glutenu ciasta pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego.
2. Wykazanie oraz określenie charakteru wpływu w recepturze dodatków z korzenia buraka ćwikłowego na właściwości fermentacyjne ciasta pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego.
3. Wykazanie oraz określenie charakteru wpływu w recepturze dodatków z korzenia buraka ćwikłowego na jakość technologiczną i organoleptyczną otrzymanego chleba pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego.
4. Wykazanie oraz określenie charakteru wpływu w recepturze dodatków z korzenia buraka ćwikłowego na wartość prozdrowotną otrzymanego chleba pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego.

Układ doświadczenia

Zakres badawczy w ramach pracy doktorskiej objął 3 etapy:

Etap I – ustalenie receptury oraz technologii produkcji chleba z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego;

Etap II – analiza parametrów jakościowych, technologicznych oraz prozdrowotnych użytych surowców oraz próbne wypieki laboratoryjne chlebów z dodatkami;

Etap III – ocena jakości, wartości prozdrowotnej oraz ocena organoleptyczna otrzymanych chlebów z dodatkami.

4. Materiał i metody badawcze

4.1. Materiał do badań

4.1.1. Chleby

Podstawowym materiałem do badań były chleby pszenne, pszenno-żytnie i pszenno-owsiane, które stanowiły próby kontrolne. Chleby pszenne, pszenno-żytnie i pszenno-owsiane, w których zastosowano wzbogacenie sokiem, wyciekami lub proszkiem (liofilizat) z korzenia buraka ćwikłowego w czterech różnych poziomach udziału procentowego w składzie receptury, każdego rodzaju chleba stanowiły próby badane. Badaniom poddano chleby każdego rodzaju uzyskane według następujących wariantów recepturowych uwzględniających udział dodatku:

- ✓ próba kontrolna, bez dodatków
- ✓ z udziałem soku:
 - 25% ilości wody w recepturze próby kontrolnej
 - 50% ilości wody w recepturze próby kontrolnej
 - 75% ilości wody w recepturze próby kontrolnej
 - 100% ilości wody w recepturze próby kontrolnej
- ✓ z udziałem wycieków:
 - 2,5% masy mąki w recepturze próby kontrolnej
 - 5% masy mąki w recepturze próby kontrolnej
 - 7,5% masy mąki w recepturze próby kontrolnej
 - 10% masy mąki w recepturze próby kontrolnej
- ✓ z udziałem proszku (liofilizatu):
 - 2,5% masy mąki w recepturze próby kontrolnej
 - 5% masy mąki w recepturze próby kontrolnej
 - 7,5% masy mąki w recepturze próby kontrolnej
 - 10% masy mąki w recepturze próby kontrolnej

Do wypieku chlebów użyto mąki pszennej typ 650 oraz mieszanek wypiekowych: pszenno-żytniej i pszenno-owsianej uzyskanych z wyżej wymienionych mąk połączonych w proporcji 4:1.

Badaniom poddano także mąki, mieszanki wypiekowe, dodatki z korzenia buraka ćwikłowego, zawiesiny mąki i mieszanek wypiekowych i ciasta wytworzone z surowców do wypieku chlebów.

4.1.2. Mąka

Do produkcji chlebów użyto mąk dostępnych w handlu detalicznym, a mianowicie: mąki pszennej typ 650 (Gdańskie Młyny, Polska), mąki żytniej typ 720 (wyprodukowanej dla Tesco, Polska) i mąki owsianej (Melvit, Polska).

Mąki te według wskazań producentów charakteryzowały się następującą zawartością poszczególnych składników odżywczych, co przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Zawartość podstawowych składników odżywczych badanej mąki (według wskazań producenta na opakowaniu)

Rodzaj mąki	Wartość energetyczna na 100 g produktu		Zawartość składnika [g] w 100 g produktu			
	kcal	kJ	Białko ogółem	Tłuszcz ogółem	Węglowodany ogółem	Błonnik pokarmowy
pszena	338	1430	11	1,7	70,0	2,6
żytnia	336	1421	6,5	1,1	70,8	7,4
owsiana	351	1479	11	7,0	66,0	10,0

Pozostałe surowce do wypieku chlebów

Do próbnego wypieku laboratoryjnego chlebów zastosowano dodatek drożdży piekarskich świeżych prasowanych *Saccharomyces cerevisiae* (Lallemand, Polska) w ilości 3% w stosunku do masy mąki/mieszanki wypiekowej oraz sól spożywczą w ilości 1% w stosunku do masy mąki/mieszanki wypiekowej. Do wypieku użyto wody wodociągowej zdatnej do picia.

4.1.3. Dodatki wzbogacające na bazie korzenia buraka ćwikłowego

Do wzbogacenia chlebów wykorzystano sok, wytloki i proszek z korzenia buraka ćwikłowego (*Beta vulgaris* L.) odmiany Czerwona Kula, a surowiec zakupiono u lokalnego dostawcy. W tabeli 2 przedstawiono obliczoną zawartość poszczególnych składników odżywczych w różnych dodatkach z korzenia buraka ćwikłowego.

Tabela 2. Zawartość podstawowych składników odżywczych wybranych produktów z korzenia buraka ćwikłowego (na podstawie tabel wartości odżywczej IŻŻ w Warszawie)

Rodzaj dodatku	Wartość energetyczna na 100 g produktu		Zawartość składnika [g] na 100 g składnika				Zawartość suchej masy* [%]
	kcal	kJ	Białko	Tłuszcz	Węglowodany	Błonnik pokarmowy	
Sok	38	162	0,20	0,04	8,23	0,98	8,3 ±1,2
Wytloki	116	485	4,86	0,27	25,67	5,94	33,5 ±0,5
Proszek	327	1368	13,69	0,76	72,20	16,74	91,7 ±2,0

* - wynik analizy laboratoryjnej

- **sok z korzenia buraka ćwikłowego**

Przygotowanie soku obejmowało wstępne rozdrobnienie korzeni buraka do postaci pulpy przy użyciu hydraulicznej prasy do owoców i warzyw firmy Norwalk (USA) i następnie wyciśnięcie z niej soku za pomocą wyciskarki wolnoobrotowej Hurom HG-SBE11 (Korea Płd.). Korzenie buraka ćwikłowego były przerabiane na sok w całości, po dokładnym umyciu i wstępnej selekcji surowca, gdzie usunięto jedynie części uszkodzone, zdeformowane bądź nadgniłe.

Jednorazowo do przygotowania jednej partii soku zużyto 10 kg korzeni z których w zależności od zawartości suchej masy uzyskiwano średnio 4,5 l soku. Gotowy produkt był wykorzystywany do badań bezpośrednio po tłoczeniu lub przechowywany maksymalnie 24 h w temperaturze chłodniczej.

- **wytłoki z korzenia buraka ćwikłowego**

Miazga uzyskana po wyciśnięciu soku z korzeni buraka ćwikłowego stanowiła kolejny rodzaj dodatku. Jednorazowo z partii 10 kg korzeni uzyskano średnio 6 kg wytlóków. Podobnie jak sok, także wytlóki były przeznaczone do badań bezpośrednio po ich uzyskaniu lub przechowywane maksymalnie 48 h w temperaturze chłodniczej.

- **proszek z korzenia buraka ćwikłowego**

Trzecim rodzajem dodatku z korzenia buraka ćwikłowego był proszek. Krajankę z korzenia buraka ćwikłowego wysuszono z wykorzystaniem liofilizatora marki ALPHA 1-2 LD plus (CHRIST, Niemcy) (temperatura suszenia: -42°C, ciśnienie: 0,010 MPa, czas suszenia: 72 h), a następnie liofilizat zmielono w młynku laboratoryjnym CEMOTEC 1090 (Foss, Dania).

Jednorazowo suszeniu poddawano 2 kg świeżej krajanki, z której uzyskiwano 200 g proszku. Gotowy dodatek przechowywano w temperaturze -20°C przez maksymalnie 2 miesiące.

4.2. Metody badawcze

4.2.1. Analiza fizykochemiczna mąki

- **Oznaczenie zawartości białka ogólnego i popiołu całkowitego w mące**

Do oznaczenia zawartości białka ogólnego w mące pszennej i mieszankach wypiekowych użytych do wypieku zastosowano analizator DA 7200 (Perten, Szwecja), wykorzystujący stacjonarny monochromator oraz matrycę 256 detektorów (Diode Array) o czułościach odpowiadającym energiom uzyskiwanym w zakresie podczerwieni (950-1700 nm). Oznaczenie wykonano według instrukcji producenta w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju mąki/mieszanki wypiekowej użytej do wypieku.

Zawartość popiołu całkowitego w badanej mące pszennej i mieszankach wypiekowych oznaczono według PN-EN ISO 2171:2010. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach, a uzyskane wyniki przedstawiono jako procentową zawartość popiołu w suchej masie mąki (X), stosując wzór:

$$X = \frac{(b - t) \times 10000}{(a - t) \times (100 - w)}$$

gdzie:

b – masa tygla z popiołem [g],

a – masa tygla z mąką przed spopieleniem [g],

t – masa tygla [g],

w – wilgotność mąki [%].

- **Oznaczanie wilgotności mąki**

Oznaczenie wilgotności mąki pszennej/mieszanek wypiekowych wykonano przy wykorzystaniu wagosuszarki MAC-50 (Radwag, Polska). Oznaczenie wilgotności wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju mąki/mieszanek wypiekowych użytych do wypieku.

- **Oznaczanie kwasowości ogólnej i kwasowości tłuszczowej mąki**

Oznaczenie kwasowości ogólnej mąki pszennej/mieszanek wypiekowych przeprowadzono metodą miareczkową według Jakubczyka i Habera (1983) w modyfikacji własnej polegającej na wykorzystaniu zestawu mieszała magnetycznego i biurety automatycznej PH-Burette 24 1S (Crison, Hiszpania). Próbkę zawiesziny mąki/mieszanki miareczkowano do pH=8,1. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju mąki/mieszanki użytej do wypieku, a uzyskane wyniki wyrażono w stopniach kwasowości, stosując wzór:

$$X = 20 \times a \times N$$

gdzie:

X – kwasowość ogólna mąki [stopnie],

a – objętość 0,1 M NaOH zużyta do miareczkowania [cm³],

N – molowość roztworu NaOH,

20 – współczynnik przeliczeniowy dla wyrażenia kwasowości [stopnie].

Oznaczenie kwasowości tłuszczowej mąki pszennej/mieszanek wypiekowych przeprowadzono według PN-ISO 7305:2001. Oznaczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach dla mąk i ich mieszanek stosowanych do wypieku. Uzyskane wyniki wyrażono w mg KOH/100 g suchej masy mąki, stosując wzór:

$$A_k = \frac{8415(V_1 - V_0)c}{m} \cdot \frac{100}{100 - w}$$

gdzie:

A_k – kwasowość tłuszczowa mąki [mg KOH/100 g s.m.],

c – stężenie roztworu NaOH użytego do miareczkowania [mol/l],

m – masa próbki [g],

V_1 – objętość titranta zużyta do miareczkowania próby badanej [cm³],

V_0 – objętość titranta zużyta do miareczkowania próby ślepej [cm³],

w – wilgotność mąki [%].

- **Oznaczanie liczby opadania mąki**

Oznaczenie liczby opadania oznaczono wykorzystując aparat Falling Number 1900 (Perten, Szwecja) według standardu ICC 107/1 i PN-ISO 3093:2010. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla mąki pszennej i mieszanek wypiekowych użytych do wypieku.

- **Oznaczanie zawartości skrobi w mące metodą polarymetryczną Ewersa**

Oznaczenie zawartości skrobi w mące pszennej i mieszankach użytych do wypieku wykonano metodą polarymetryczną Ewersa według opisu w normie PN-EN ISO 10520:2002 w dwóch stopniach oznaczania. Zawartość skrobi (W) w mące/mieszance jako udział % w suchej masie próbki obliczono według wzoru:

$$W = \frac{2000}{\alpha_D^{20}} \times \left[\frac{2,5 \times \alpha_1}{m_1} - \frac{5 \times \alpha_2}{m_2} \right] \times \frac{100}{w_1}$$

gdzie:

α_1 – skręcalność optyczna zmierzona w pierwszym stopniu oznaczenia [stopnie],

α_2 – skręcalność optyczna substancji rozpuszczalnych w etanolu zmierzona w drugim stopniu oznaczenia [stopnie],

m_1 – masa badanej próbki mąki w pierwszym stopniu oznaczenia [g],

m_2 – masa badanej próbki mąki w drugim stopniu oznaczenia [g],

w_1 – zawartość suchej masy w badanej próbce mąki [procenty masowe],

α_D^{20} – skręcalność optyczna czystej skrobi zmierzona przy długości fali $\lambda = 589,3$ nm (dla skrobi pszenicznej $\alpha_D^{20} = +182,7^\circ$) [stopnie].

Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla mąki pszennej i mieszanek użytych do wypieku.

- **Analiza amylograficzna mąki**

Oznaczenie wykonano w aparacie Viscograph-E (Brabender, Niemcy) według PN-EN ISO 7973:2016-01 z modyfikacją własną. Do jednostkowej analizy przygotowywano zawiesinę mąki/mieszanki wypiekowej o masie równoważnej zawartości suchej masy w 80 g mąki/mieszanki i wody do uzyskania masy zawiesiny równej 530 g. Zawiesinę ogrzewano w zakresie temperatur od 30-95°C, ze skokiem temperatury 1,5°C/minutę. Z raportu z analizy odczytano maksymalną lepkość zawiesiny badanej mąki (BU) oraz temperaturę początkową i końcową kleikowania (°C). Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla mąki pszennej i mieszanek użytych do wypieku. Do badań zawiesin zawierających proszek lub wytloki z korzenia buraka ćwikłowego przygotowano mąkę pszenną lub mieszankę z ich dodatkiem, natomiast dla zawiesin z sokiem przygotowano mąkę lub mieszankę i sok w ilości równej objętości wody w próbie kontrolnej.

- **Oznaczanie ilości i jakości glutenu z mąki**

Oznaczenie ilości glutenu oraz jego jakości wykonano metodą według standardu ICC 155 i 158 z użyciem urządzeń mechanicznych. W badaniach wykorzystano aparat Gluten Index System (Perten, Szwecja).

Ilość glutenu mokrego, wyrażoną w procentach, obliczono mnożąc łączną masę obu frakcji przez 10. Wyniki podano jako zawartość w mące o wilgotności 14%. Stosunek masy frakcji, która nie przeszła przez sito do łącznej masy obu frakcji pomnożona przez 100 określiła wyróżnik jakościowy glutenu tzw. indeks glutenu.

Oznaczenie ilości glutenu suchego wykonano według PN-EN ISO 21415-4:2008 poprzez wysuszenie wymytego glutenu mokrego w suszarce Glutork 2020 (Perten, Szwecja) w temperaturze 105°C. Wyniki podano jako zawartość w mące o wilgotności 14%.

Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach dla mąki pszennej/mieszanek użytych do wypieku.

Wymywanie ręczne glutenu mokrego przeprowadzono według PN-EN ISO 21415-1:2007. Ilość mokrego glutenu [%] obliczono ze wzoru:

$$X = a \times 2$$

gdzie:

a – masa wymytego glutenu [g].

Uzyskany wynik przeliczono na zawartość równoważną ilości glutenu mokrego w naważce mąki o wilgotności 14%.

Oznaczenie jakości glutenu mokrego wymytego z mąki pszennej i mieszanek wykonano w zakresie oceny elastyczności i rozpląwalności i przeprowadzono zgodnie z instrukcją Jakubczyka i Habera (1983).

Elastyczność glutenu określono w stopniach stosując następującą klasyfikację:

- | | |
|-----------|---|
| 1 stopień | elastyczny gluten (wykazujący zdolność rozciągania się do długości 5 cm i powrotu do punktu zerowego podziałki), |
| 2 stopień | średnio elastyczny gluten (wykazujący zdolność rozciągania się do długości 5 cm i powrotu tylko do połowy długości rozciągania tj. do podziałki 2,5 cm), |
| 3 stopień | mało elastyczny gluten (wykazujący zdolność rozciągania się do długości 5 cm, lecz nie kurczący się zupełnie, obwisający i wykazujący skłonność do dalszego rozciągania się), |
| 4 stopień | nieelastyczny gluten (zrywający się przy rozciągnięciu do podziałki 5 cm). |

Rozpląwalność glutenu [mm] wyrażono jako wynik różnicy pomiędzy pomiarami kulki glutenu (o masie 5 g) po wyjęciu z termostatu i przed jej umieszczeniem w termostacie ($S_2 - S_1$). Oznaczenie to wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego glutenu z każdej badanej mąki/mieszanki.

Liczbę glutenową (LG) obliczono według Jakubczyka i Habera (1983), na podstawie wyników oznaczenia rozpląwalności glutenu [mm] i ilości wymytego ręcznie glutenu mokrego [%], według wzoru:

$$LG = a(2 - 0,065R)$$

gdzie:

a – ilość mokrego glutenu [%];

R – rozpląwalność mokrego [mm];

0,065 – współczynnik przeliczeniowy.

Przy obliczeniach uwzględniono korektę dla mąki o wilgotności 14% dla ilości glutenu mokrego. Obliczenia wykonano w trzech powtórzeniach dla mąki pszennej i mieszanek wypiekowych.

- **Oznaczanie wskaźnika sedymentacji Zeleny`ego mąki**

Oznaczenie wykonano według instrukcji Jakubczyka i Habera (1983) oraz PN-EN ISO 5529:2010 przy użyciu zestawu pomiarowego (Sadkiewicz Instruments, Polska). Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla mąki pszennej i mieszanek wypiekowych.

4.2.2. Analizy właściwości ciasta

- **Oznaczanie wodochłonności mąki i analiza farinograficzna ciasta**

Oznaczenie wodochłonności mąki pszennej i mieszanek użytych do wypieku oraz mieszanek z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego wykonano przy użyciu farinografu-E (Brabender, Niemcy) z oprogramowaniem, według Standardu ICC 115/1 i PN-EN ISO 5530-1:2015-01. Wodochłonność mąki wyznaczono jako ilość wody niezbędną do uzyskania ciasta o konsystencji wynoszącej 500 FU. Analizie poddano ilość mąki równoważną zawartości suchej masy w 50 g mąki o wilgotności 14%. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach.

Po ustaleniu wodochłonności mąki pszennej/mieszanki wypiekowej/mieszanki z dodatkami wykonano badania właściwości ciasta poprzez wykreślenie krzywej normalnej w czasie co najmniej 15 minut. Parametry reologiczne ciasta wyznaczono na podstawie standardu ICC 115/1. Z wykresu farinograficznego (farinogramu) i raportu z analizy wyznaczono następujące parametry farinograficzne ciasta:

- czas rozwoju [min], czyli czas od momentu rozpoczęcia pomiaru (dodawania wody do mąki), do osiągnięcia punktu załamania na wykresie momentu obrotowego (farinogramie);
- czas stałości [min], czyli czas liczony od momentu zakończenia rozwoju ciasta do momentu, gdy krzywa na farinogramie opadając ponownie zetknie się z linią konsystencji (linią odpowiadającą wartości 500 FU);
- rozmiękczenie ciasta [FU] na wykresie (farinogramie), czyli odległość do środka krzywej (od linii odpowiadającej wartości 500 FU), po 12 minutach miesienia, licząc od szczytu, wyrażona w umownych jednostkach farinograficznych (FU) oraz
- liczbę jakości – punkt na wykresie, w którym krzywa opadła o 30 FU po osiągnięciu maksimum, czyli odległość od czasu rozpoczęcia miesienia (dodania wody) do tego punktu określana w milimetrach (odpowiednik przyrostu czasu do tego punktu w minutach pomnożony przez 10).

Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego badanego rodzaju ciasta. Do badań wariantów zawierających proszek lub wytloki z korzenia buraka ćwikłowego zastąpiono nimi odpowiednią część mąki pszennej/mieszanki, natomiast dla wariantów z sokiem zastąpiono nim odpowiednią część wody w odniesieniu do prób kontrolnych.

- **Analiza ekstensograficzna ciasta**

Oznaczenie właściwości reologicznych ciasta z mąki pszennej i mieszanek wypiekowych, w czasie jego rozciągania oraz wpływu na nie zastosowanych dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego wykonano przy użyciu ekstensografu-E (Brabender, Niemcy) z oprogramowaniem według Standardu ICC 114/1 i PN-EN ISO 5539-2:2015-01.

Do wykonania analizy przygotowano ciasto w farinografie o konsystencji 500 FU, a także wyznaczoną wodochłonność ekstensograficzną. Jest to ilość 2% roztworu NaCl dodanego do mąki/mieszanki do uzyskania ciasta o konsystencji wzorcowej 500 FU, którą uzyskuje się po 5 minutach miesienia ciasta (Standard ICC 114/1).

Z wykresu ekstensograficznego (ekstensogramu) i raportu z analizy odczytano następujące parametry reologiczne ciasta:

- energia podnoszenia się ciasta [cm^2], czyli zdolność do zwiększenia objętości i jest równa polu powierzchni pod wykreśloną krzywą;
- opór ciasta na rozciąganie [EU], czyli wysokość krzywej po 5 cm od momentu rozpoczęcia rozciągania (startu pomiaru);
- rozciągliwość glutenu ciasta [mm] to parametr wyrażany poprzez rozpiętość krzywej na ekstensogramie od momentu rozpoczęcia rozciągania do uzyskania jego maksimum tj. zerwania ciasta;
- opór ciasta na zrywanie [EU] inaczej maksymalna wysokość wykreślonej krzywej oraz
- współczynnik oporu, czyli stosunek oporu na rozciąganie do rozciągliwości glutenu ciasta, wyrażony liczbowo.

Pomiary wykonano po 45, 90 i 135 minutach dojrzewania ciasta w komorze fermentacyjnej.

Oznaczenie wykonano w dwóch powtórzeniach dla każdego badanego rodzaju ciasta. W trakcie przygotowywania ciast dla wariantów zawierających proszek lub wytloki z korzenia buraka ćwikłowego zastąpiono nimi odpowiednią część mąki pszennej/mieszanki, natomiast dla wariantów z sokiem zastąpiono nim odpowiednią część wody w odniesieniu do prób kontrolnych.

- **Oznaczanie wskaźników fermentacji ciasta**

Oznaczenie właściwości fermentacyjnych mąki pszennej/mieszanek wypiekowych i zdolności utrzymania CO_2 przeprowadzono z wykorzystaniem fermentografu laserowego (Sadkiewicz Instruments, Polska) według metody opracowanej przez Zakład Badawczy Przemysłu Piekarskiego w Bydgoszczy z modyfikacją własną, polegającą na obliczeniu naważki

mąki/mieszanki uwzględniającej jej wilgotność oraz pozostałych składników w odniesieniu do obliczonej ilości mąki/mieszanki. Analizie poddano ciasto przygotowane z: masy mąki o zawartości suchej masy jak w 140 g mąki o wilgotności 14%, 80 cm³ wody, 2,5 g drożdży i 2 g soli w mieszarce laboratoryjnej (Sadkiewicz Instruments, Polska).

Przygotowane ciasto umieszczono w komorze aparatu i poddano fermentacji w temperaturze 35°C przez 90 minut, rejestrując objętość ciasta co 2 minuty.

Z wykresu analizy fermentograficznej (fermentogramu) wyznaczono następujące wskaźniki:

- czas punktu krytycznego [min];
- objętość ciasta w punkcie krytycznym (ilość gazów zatrzymanych w cieście, stanowiąca o zdolności zatrzymywania gazu (CO₂) przez ciasto warunkująca jego optymalne rozpulchnienie) [cm³];
- ilość gazów (CO₂) wytworzonych podczas fermentacji w czasie całego cyklu pomiarowego (jest to zdolność fermentacyjna mąki) [cm³].

Pomiary wykonano w dwóch powtórzeniach dla każdego badanego rodzaju ciasta. W trakcie przygotowywania ciast zawierających proszek lub wytloki z korzenia buraka ćwikłowego zastąpiono nimi odpowiednią część mąki/mieszanki, natomiast dla ciast z sokiem zastąpiono nim odpowiednią część wody w odniesieniu do prób kontrolnych.

• **Próbnny wypiek laboratoryjny chleba**

Próbnny wypiek laboratoryjny wszystkich rodzajów chlebów przeprowadzono metodą bezpośrednią (jednofazową) według Jakubczyk i Haber (1983).

Ciasto przygotowano z:

- ✓ ilości mąki/mieszanki wypiekowej odpowiadającej zawartości suchej masy w 320 g mąki o wilgotności 14%,
- ✓ ilości wody wodociągowej zdatnej do picia do uzyskania konsystencji ciasta 350 FU i o temperaturze niezbędnej do uzyskania temperatury ciasta równej 28°C,
- ✓ drożdży w ilości 3% masy mąki pszennej/mieszanki wypiekowej,
- ✓ soli w ilości 1% masy mąki pszennej/mieszanki wypiekowej.

Przed przystąpieniem do wypieku dla każdego wariantu chleba obliczono ilości składników, które przedstawiono w tabelach 3-11.

Tabela 3. Receptury chlebów pszennych wzbogacanych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 25% udziałem soku	z 50% udziałem soku	z 75% udziałem soku	z 100% udziałem soku
Mąka pszenna [g]	320,00	320,00	320,00	320,00	320,00
Woda [ml]	195,00	146,25	97,50	48,75	–
Sok z korzenia buraka ćwikłowego [ml]	–	48,75	97,50	146,25	195,00
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4. Receptury chlebów pszennych wzbogacanych wyciekami z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 2,5% udziałem wycieków	z 5,0% udziałem wycieków	z 7,5% udziałem wycieków	z 10% udziałem wycieków
Mąka pszenna [g]	320,00	312,00	304,00	296,00	288,00
Wycieki z korzenia buraka ćwikłowego [g]	–	8,00	16,00	24,00	32,00
Woda [ml]	195,00	195,00	170,62	162,29	154,59
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5. Receptury chlebów pszennych wzbogacanych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 2,5% udziałem proszku	z 5,0% udziałem proszku	z 7,5% udziałem proszku	z 10% udziałem proszku
Mąka pszenna [g]	320,00	312,00	304,00	296,00	288,00
Proszek z korzenia buraka ćwikłowego [g]	–	8,00	16,00	24,00	32,00
Woda [ml]	195,00	184,09	184,09	184,09	184,09
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 6. Receptury chlebów pszenno-żytnich wzbogacanych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 25% udziałem soku	z 50% udziałem soku	z 75% udziałem soku	z 100% udziałem soku
Mieszanka pszenno-żytnia 4:1 [g]	320,00	320,00	320,00	320,00	320,00
Woda [ml]	198,00	148,50	99,00	49,50	–
Sok z korzenia buraka ćwikłowego [ml]	–	49,50	99,00	148,50	198,00
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7. Receptury chlebów pszenno-żytnich wzbogacanych wyciekami z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 2,5% udziałem wycieków	z 5,0% udziałem wycieków	z 7,5% udziałem wycieków	z 10% udziałem wycieków
Mieszanka pszenno-żytnia 4:1 [g]	320,00	312,00	304,00	296,00	288,00
Wycieki z korzenia buraka ćwikłowego [g]	–	8,00	16,00	24,00	32,00
Woda [ml]	198,00	198,00	170,63	166,45	159,69
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 8. Receptury chlebów pszenno-żytnich wzbogacanych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 2,5% udziałem proszku	z 5,0% udziałem proszku	z 7,5% udziałem proszku	z 10% udziałem proszku
Mieszanka pszenno-żytnia 4:1 [g]	320,00	312,00	304,00	296,00	288,00
Proszek z korzenia buraka ćwikłowego [g]	–	8,00	16,00	24,00	32,00
Woda [ml]	198,00	190,27	190,27	190,27	187,70
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 9. Receptury chlebów pszenno-owsianych wzbogacanych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 25% udziałem soku	z 50% udziałem soku	z 75% udziałem soku	z 100% udziałem soku
Mieszanka pszenno-owsiana 4:1 [g]	320,00	320,00	320,00	320,00	320,00
Woda [ml]	203,00	152,25	101,50	50,75	–
Sok z korzenia buraka ćwikłowego [ml]	–	50,75	101,50	152,25	203,00
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 10. Receptury chlebów pszenno-owsianych wzbogacanych wytlókami z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 2,5% udziałem wytlóków	z 5,0% udziałem wytlóków	z 7,5% udziałem wytlóków	z 10% udziałem wytlóków
Mieszanka pszenno-owsiana 4:1 [g]	320,00	312,00	304,00	296,00	288,00
Wytlóki z korzenia buraka ćwikłowego [g]	–	8,00	16,00	24,00	32,00
Woda [ml]	203,00	189,03	181,24	173,12	165,00
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Tabela 11. Receptury chlebów pszenno-owsianych wzbogacanych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego

Składnik	próba kontrolna	z 2,5% udziałem proszku	z 5,0% udziałem proszku	z 7,5% udziałem proszku	z 10% udziałem proszku
Mieszanka pszenno-owsiana 4:1 [g]	320,00	312,00	304,00	296,00	288,00
Proszek z korzenia buraka ćwikłowego [g]	–	8,00	16,00	24,00	32,00
Woda [ml]	203,00	196,83	196,83	194,55	191,31
Drożdże piekarskie [g]	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60
Sól spożywcza [g]	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80

źródło: Opracowanie własne.

Do przygotowania ciasta użyto miesiarki typu R4 (Mesko-AGD, Polska), wyposażonej w mieszadło hakowe. Fermentację podstawową ciasta przeprowadzono w komorze fermentacyjnej (Sveba Dahlen, Szwecja) w temperaturze 32°C i przy wilgotności względnej 80% przez 60 minut. Ponowne przerobienie ciasta tzw. przebicie wykonano ręcznie po połowie czasu fermentacji podstawowej. Następnie ciasto podzielono na kęsy o masie 250 g, które poddano fermentacji

końcowej w komorze fermentacyjnej do rozrostu optymalnego sprawdzanego ręcznie, a następnie umieszczono w zaparowanej komorze wypiekowej pieca elektrycznego Classic (Sveba Dahlen, Szwecja). Wypiek prowadzono w temperaturze 230°C przez 30 minut.

Chleby po wyjęciu z pieca zważono i pozostawiono do wystudzenia. Po 24 godzinach od wypieku ponownie je zważono i poddano badaniom jakości. Wypiek każdego rodzaju chleba powtórzono trzykrotnie, co stanowiło trzy partie produkcyjne.

Wygląd bochenków i miękiszu chlebów z próbnych wypieków udokumentowano na skanach (typ obrazu: kolor 48-bitowy, rozdzielczość: 800 dpi) przy użyciu skanera V550 Photo (Seiko Epson Corp., Japonia) i umieszczono w załącznikach 13, 14 i 15.

4.2.3. Ocena parametrów procesu wypiekowego chleba

Po wykonaniu próbnego wypieku laboratoryjnego obliczono podstawowe parametry procesu wypiekowego takie, jak (Jakubczyk i Haber 1983):

- wydajność ciasta [%]

$$\text{wydajność ciasta} = \frac{a \cdot 100}{m}$$

gdzie:

a – masa ciasta [g],

m – masa użytej mąki o wilgotności 15% [g].

- upiek [%]

$$\text{upiek} = \frac{(a-b) \cdot 100}{a}$$

gdzie:

a – masa ciasta uformowanego do wypieku [g],

b – masa pieczywa gorącego po wyjęciu z pieca [g].

- wydajność pieczywa [%]

$$\text{wydajność pieczywa} = \frac{c \cdot w}{a}$$

gdzie:

c – masa pieczywa zimnego [g],

w – wydajność ciasta [%],

a – masa ciasta uformowanego do wypieku [g].

4.2.4. Ocena jakości pieczywa z próbnego wypieku

Każdy rodzaj chleba uzyskanego w próbnym wypieku pieczywa poddano badaniom jakości. Badania dotyczyły chlebów z trzech partii produkcyjnych.

- **Oznaczanie objętości pieczywa**

Objętość chlebów zmierzono metodą uproszczoną z zastosowaniem materiału sypkiego – nasiona prosa.

Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego otrzymanego bochenka z każdej partii produkcyjnej, a wyniki podano jako objętość w przeliczeniu na 100 g pieczywa.

Na podstawie otrzymanych wyników obliczono także objętość właściwą badanych chlebów [cm^3/g], przez podzielenie objętości bochenka [cm^3] przez jego masę [g].

- **Oznaczanie wilgotności miękkiszu chleba**

Oznaczenie wilgotności miękkiszu chleba wykonano według PN-A-74108:1996P. Do badań użyto suszarki laboratoryjnej (Binder, Niemcy). Z różnicy mas miękkiszu chleba przed i po suszeniu obliczono wilgotność miękkiszu badanego pieczywa. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju chleba z każdej partii produkcyjnej, a wyniki podano w procentach.

- **Oznaczanie kwasowości miękkiszu chleba**

Oznaczenie kwasowości miękkiszu chleba wykonano metodą według Jakubczyka i Habera (1983) z modyfikacją własną. Do ekstrakcji przeznaczono 20 g miękkiszu, który zalano 200 cm^3 wcześniej przegotowanej i wystudzonej wody destylowanej pozostawionych na 1 godzinę. Miareczkowaniu poddano jednorazowo 20 cm^3 przesącza uzyskanego z ekstrahowanego miękkiszu każdego rodzaju chleba. Do miareczkowania wykorzystano mieszadło magnetyczne i automatyczną biurety PH-Burette 24 1S (Crison, Hiszpania), każdorazowo miareczkując sporządzoną próbkę do $\text{pH}=8,1$. Kwasowość badanego miękkiszu chleba (X), obliczono według wzoru:

$$X = 2 \times a$$

gdzie:

X – kwasowość pieczywa [stopnie],

a – objętość 0,1 M NaOH zużyta do zmiareczkowania próby [cm^3].

Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju chleba z każdej partii produkcyjnej.

- **Oznaczenie porowatości miękkiszu chleba**

Oznaczenie wykonano metodą według Jakubczyka i Habera (1983) przy wykorzystaniu skali Dallmanna. Skany miękkiszu każdego rodzaju chleba z każdej partii produkcyjnej porównano z fotografiami ze skali Dallmanna i przypisano współczynnik porowatości.

- **Pomiar parametrów barwy miękkiszu i skórki pieczywa wg modelu CIE L a*b***

Pomiarów barwy skórki i miękkiszu chlebów dokonano z użyciem kolorymetru UltraScan VIS (HunterLab, USA). Pomiar przeprowadzono w świetle przechodzącym z zastosowaniem iluminantu D65, typu obserwatora 10° (D65/10), którego ciągle widmo w zakresie widzialnym jest najbardziej zbliżone do światła dziennego, jego temperatura barwowa to 6505 K.

Pomiary i interpretacja wyników przeprowadzana była z wykorzystaniem modelu CIE La*b*, który odpowiada indywidualnym odczuciom barwy przez człowieka. Zmierzono: parametr L* jasność (zakres od czerni do bieli) oraz parametry chromatyczności: a* balans barwy czerwonej (+) do zielonej (-) i b* balans barwy żółtej (+) do niebieskiej (-). Obliczono także parametr ΔE^* , czyli bezwzględną różnicę barwy, dla skórki i miękkiszu wszystkich rodzajów chlebów z udziałem różnych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego (próby badane) w porównaniu z skórką i miękkiszem odpowiedniego rodzaju chleba bez dodatków (próba kontrolna) (Gerłowicz i in. 2018, Wójtowicz i in. 2013).

Parametry modelu CIE La*b* w pełni definiują barwę, a jej różnicę można przedstawić zależnością:

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

Dzięki różnicy barwy (ΔE^*) można precyzyjnie określić jak bardzo dwie barwy różnią się od siebie. W opracowaniu wyników obliczeń ΔE^* posłużono się kryterium Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej CIE, według którego bezwzględne różnice barw o wartości pomiędzy 0 i 1 są nierozpoznawalne, od 1 do 2 to niewielkie odchylenie, rozpoznawalne przez osobę doświadczoną w odróżnianiu barw, 2-3,5 to średnie odchylenie rozpoznawane także przez osobę niedoświadczoną w odróżnianiu barw, 3,5-5 to wyraźne odchylenie, a wartość powyżej 5 oznacza duże odchylenie barwy (Mokrzycki i Tatol 2011).

Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju chleba z każdej partii produkcyjnej, osobno dla skórki i miękkiszu.

- **Pomiar parametrów tekstury miękiszu pieczywa**

Instrumentalny pomiar parametrów tekstury miękiszu (test TPA, ang. Texture Profile Analysis) wykonano przy użyciu teksturometru Shimadzu EZ Test – LX 1000N (Shimadzu Corp., Japonia). Badane próbki miękiszu chleba o kształcie sześciangu o wymiarach $a=2$ cm, pobrane z różnych części bochenka, poddano podwójnemu ścisnaniu do 50% ich pierwotnej wysokości przez głowicę o średnicy $d=20$ mm, przy prędkości przesuwu głowicy $v=50$ mm·min⁻¹. Do obliczenia wartości parametrów profilu tekstury wykorzystano oprogramowanie TrapeziumX. Wyznaczono twardość [N], sprężystość [-], żujność [N] i spoistość (kohezyjność) [-]. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju chleba z każdej partii produkcyjnej.

4.2.5. Ocena organoleptyczna i konsumencka pieczywa z próbnego wypieku

Ocenę organoleptyczną metodą 5-punktową i klasyfikację jakości badanych chlebów wykonano uwzględniając cechy zewnętrzne pieczywa, takie jak kształt i jakość jego skórki. Kształt pieczywa określono przez obejrzenie sztuk pieczywa. Barwę i wygląd powierzchni chleba oceniono po obejrzeniu go w świetle równomiernie rozproszonym. Elastyczność skórki - poprzez nacisk palca, a jej chrupkość - przez rozgryzienie. Po przekrojeniu pieczywa przez środek poddano ocenie także jego miękisz. Barwę i porowatość miękiszu oceniono poprzez obejrzenie przekroju bochenka. Ocenę elastyczności miękiszu wykonano przez obserwację szybkości powrotu do stanu pierwotnego próbki o grubości 1,5 cm ściśniętej palcami do oporu. Zapach chleba oceniono powonieniem po przekrojeniu bochenka przez środek, a smak pieczywa przez powolne przeżuwanie miękiszu (Jakubczyk i Haber 1983).

Chleby wzbogacone i kontrolne oceniał zespół składający się z 10 osób, które uzyskały pozytywny wynik testu wrażliwości sensorycznej (PN-ISO 3972:2016-07).

Na podstawie obliczonej średniej oceny dla każdej badanej cechy jakości sensorycznej pieczywo zakwalifikowano do następujących klas jakości: bardzo dobra (5,0 punktów), dobra (4,9-4,0 punktów), dostateczna (3,9-3,0 punktów), niedostateczna (2,9-1,0 punktów).

Ponadto chleby zostały poddane ocenie konsumenckiej stopnia akceptacji (pożądalności) cech sensorycznych produktu (PN-EN ISO 11136:2017-08). Dziesięcioosobowy zespół ocenił chleby pod względem: kształtu i wyglądu zewnętrznego, smaku, zapachu, barwy miękiszu oraz porowatości i elastyczności miękiszu. W badaniu wykorzystano 9-punktową skalę kategorii, a mianowicie:

poziom skali	nazwa kategorii
9	ogromnie lubię
8	bardzo lubię
7	średnio lubię
6	dość lubię
5	ani lubię ani nie lubię
4	trochę nie lubię
3	średnio nie lubię
2	bardzo nie lubię
1	ogromnie nie lubię

Ocenę sensoryczną i konsumencką powtórzono dla każdej partii produkcyjnej, a badania objęły wszystkie rodzaje chlebów z każdej partii produkcyjnej. Karty oceny organoleptycznej i konsumenckiej zamieszczono w załączniku 16 do niniejszej pracy.

4.2.6. Ocena wartości odżywczej pieczywa z próbnego wypieku

Wartość energetyczną [kcal; kJ] użytych do wypieku surowców na bazie korzenia buraka ćwikłowego oraz wytworzonych chlebów wyrażoną na 100 g części jadalnych produktu obliczono w oparciu o tabele wartości odżywczej produktów spożywczych Instytutu Żywności i Żywienia w Warszawie (Kunachowicz i in. 2020). Przy obliczeniach uwzględniono zawartość wody w badanym surowcu.

Zawartość azotu w badanym pieczywie oznaczono metodą Kjeldahla według normy PN-EN ISO 20483:2014-02, przy użyciu aparatu Kjelttec (Foss, Dania), a następnie obliczono zawartość białka ogólnego (przelicznik azotu na białko równy: $N \times 5,7$).

Zawartość tłuszczu surowego ogółem w badanym pieczywie oznaczono przy zastosowaniu jednostki ekstrakcyjnej Soxtec (Foss, Dania) w oparciu o normę PN-EN ISO 11085:2015-10.

Zawartość cukrów ogółem w badanym pieczywie oznaczono metodą Luffa-Schoorla według wytycznych PN-A-74108:1996, a zawartość błonnika pokarmowego według standardu AOAC 985.29.1997.

Zawartość składników odżywczych w chlebach kontrolnych i wzbogaconych wyrażono w gramach na 100 g produktu. Oznaczenia przeprowadzono w trzech powtórzeniach dla każdego rodzaju chleba z każdej partii produkcyjnej.

4.2.7. Ocena wartości prozdrowotnej surowców i wyrobów gotowych

- **Ekstrakcja związków prozdrowotnych z surowców i gotowych produktów**

W celu zbadania wartości prozdrowotnej wzbogacanych chlebów najpierw przeprowadzono proces ekstrakcji związków o charakterze prozdrowotnym zarówno z gotowego produktu – osobno mięksisz i skórka chleba, jak i surowców – sok, wytloki i proszek z korzenia buraka ćwikłowego oraz międzyproduktów – ciasto. Pierwszym krokiem była liofilizacja surowców, ciast i mięksiszu i skórki pieczywa (temp.: -42°C; ciśnienie: 0,010 MPa) przy zastosowaniu liofilizatora ALPHA 1-2 LD plus (Christ, Niemcy). Następnie liofilizaty zmielono do postaci proszku przy użyciu młynka laboratoryjnego CEMOTEC 1090 (Foss, Dania). Tak przygotowane próbki przechowywano w temperaturze zamrażalniczej -20°C, nie dłużej niż 3 miesiące, w trakcie których przeprowadzono analizy potencjału przeciwutleniającego.

Rozdrobniony materiał naważono w ilości 1 g i umieszczono w probówkach wirówkowych typu Falcon o objętości 15 ml. Tak przygotowane próby następnie ekstrahowano 5 ml 50% roztworu metanolu (MeOH) w wodzie zakwaszonego kwasem mrówkowym (1% v/v). Ekstrakcję prowadzono przez 20 minut wraz z jednokrotnym poddaniem prób działaniu ultradźwięków w temperaturze 30°C, przy częstotliwości 50 Hz, przez 20 minut w łaźni ultradźwiękowej (Sonic 10, Polsonic, Polska).

Po przeprowadzonej ekstrakcji mieszaniny odwirowywano (7 tys. obr./min) przy użyciu wirówki laboratoryjnej (Centrifuge 5430, Eppendorf Poland, Polska). Zebrane supernatanty przeznaczono do dalszych analiz.

- **Oznaczanie zawartości barwników betalainowych metodą spektrofotometryczną**

Do analiz wykorzystano przygotowane ekstrakty metanolowe. Zawartość barwników betalainowych oznaczono metodą spektrofotometryczną według Ruiz-Gutiérrez i in. (2015) oraz Nilsson (1970). Oznaczono zawartości zarówno fioletowych betacyjanów i żółtych betaksantyn, jak i ich sumę. Do pomiarów wykorzystano spektrofotometr Nicolet Evolution 300 PC (Thermo Fisher Scientific, USA) wraz z oprogramowaniem.

Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach rozpoczynając od surowca wzbogacającego badane pieczywo (sok, wytloki, proszek z korzenia buraka ćwikłowego) poprzez międzyprodukty - ciasta, kończąc na mięksiszu i skórce chleba. Wyniki końcowe wyrażono: dla badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego w mg wzorcowego barwnika/100 g ś.m., dla ciast – w przeliczeniu na mg wzorcowego barwnika/świeży kęs ciasta użyty do wypieku (250 g), a dla chleba – w mg

wzorcowego barwnika/100 g ś.m. skórki (15% masy chleba) lub 100 g ś.m. miękkiszu chleba (85% masy chleba).

- **Analiza profilu związków polifenolowych (barwników betalainowych) metodą UPLC-PDA-ESI-MS**

Analizy związków betalainowych dokonano autorską metodą w oparciu o technikę ultrasprawną chromatografię cieczową sprzężoną z detekcją mas z wykorzystaniem urządzenia ACQUITY (Waters, Milford, USA). Chromatograf był wyposażony w binarny menedżer pompy, menedżer kolumny, menedżer próbek, detektor o matrycy fotodiodowej (PDA), tandemowy kwadrupolowy spektrometr mas w postaci podwójnego kwadrupola (TQD) ze źródłem jonizacji typu elektrozpylenie (ESI) pracującym w trybie przemiatania jonów dodatnich. Rozdział związków betalainowych przeprowadzono stosując kolumnę UPLC BEH HSS T3 o wielkości ziaren 1,8 μm oraz wymiarach 100 mm x 2,1 mm (Waters, Milford, USA). Jako fazy ruchomej użyto 0,1 % roztworu kwasu mrówkowego w wodzie (eluent A) i roztwór 40% acetonitrylu w wodzie z dodatkiem 0,1% kwasu mrówkowego, v/v/v (eluent B). Stosowano następujący gradient liniowy zaczynając od warunków początkowych 20% B i 80% A do 100% B i 0% A w ciągu 8 min. Szybkość przepływu fazy ruchomej utrzymywano na stałym poziomie 0,35 ml/min. przez całkowity czas przebiegu analizy 9,5 minuty. Objętość nastrzyku próbek wynosiła 5 μl , a kolumna była utrzymywana w temperaturze 50°C. Zastosowano następujące parametry jonizacji ESI: napięcie stożka próbującego 30 V, napięcie kapilary 3500 V, temperatura źródła i desolwatacji odpowiednio 120°C i 350°C oraz szybkość przepływu gazu desolwatacyjnego 800 l/godz. Uzyskane dane zostały przetworzone w programie Waters MassLynx v.4.1 (Waters Corporation, Milford, MA, USA). Charakterystykę poszczególnych związków betalainowych przeprowadzono na podstawie czasu retencji, stosunku masy do ładunku, jonów pseudomolekularnych i fragmentarycznych oraz porównania uzyskanych danych ze danymi literaturowymi.

Analiza jakościowa

Identyfikację związków betalainowych oraz ich charakterystyki dokonano w oparciu o porównanie widm maksimum absorpcji promieniowania UV-Vis, masy cząsteczkowej wyznaczonej na podstawie stosunku masy do ładunku, czasów retencji oraz widm fragmentacyjnych z danymi literaturowymi. Widma rozpadu uzyskano w wyniku zastosowania kolizyjnie indukowanej fragmentacji (CID) w układzie tandemowym. Energię kolizji dobierano indywidualnie do analizowanego związku.

Analiza ilościowa

W celu przeprowadzenia analizy ilościowej zastosowano rejestrację jonu pojedynczego (SIR – single ion recording) dla wybranych jonów, charakterystycznych dla szukanych związków o zidentyfikowanych wcześniej widmach. Obliczenia wykonano w oparciu o metodę prostej normalizacji umożliwiającej oszacowanie względnych ilości związków betalainowych. Na podstawie chromatogramu obliczono sumaryczną powierzchnię pików, które traktowano jako 100%. Następnie obliczono udział powierzchni określonego pików względem sumy powierzchni wszystkich pików na chromatogramie. Otrzymaną wartość dla danej substancji przypisano jako procentową zawartość względem innych substancji obecnych w mieszaninie. Obliczenia wykonano zgodnie z poniższym równaniem.

$$C = A / \sum A \times 100$$

gdzie:

C - udział % substancji i względem innych pików na chromatogramie,

A - powierzchnia pików,

$\sum A$ - suma powierzchni wszystkich lub wybranych pików na chromatogramie.

- **Oznaczanie zawartości polifenoli ogółem metodą Folina-Ciocalteu**

Do oznaczeń wykorzystano przygotowane ekstrakty metanolowe oraz spektrofotometr Nicolet Evolution 300 PC (Thermo Fisher Scientific, USA) wraz z oprogramowaniem. Pomiar dotyczył kolorymetrycznego oznaczenia niebiesko-szarego kompleksu, powstałego wyniku reakcji związków polifenolowych z odczynnikiem Folina-Ciocalteu. Zawartość polifenoli odczytuje się z krzywej wzorcowej w odniesieniu do kwasu galusowego (Xianggun i in. 2000).

Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach rozpoczynając od surowca wzbogacającego badane pieczywo (sok, wytloki, proszek z korzenia buraka ćwikłowego) poprzez międzyprodukty - ciasta, kończąc na miękiszu i skórce chleba. Wyniki końcowe wyrażono dla badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego w mg kwasu galusowego (GAE)/100 g ś.m., dla ciast – w przeliczeniu na mg kwasu galusowego (GAE)/świeży kęs ciasta użyty do wypieku (250 g), a dla chleba – w mg kwasu galusowego (GAE)/100 g ś.m. skórki (15% masy chleba) lub 100 g ś.m. miękiszu chleba (85% masy chleba).

- **Oznaczanie siły zmiatania rodników DPPH***

Do oznaczeń wykorzystano przygotowane ekstrakty metanolowe oraz spektrofotometr Nicolet Evolution 300 PC (Thermo Fisher Scientific, USA) wraz z oprogramowaniem. Pomiar

dotyczyły kolorymetrycznego oznaczenia stopnia zredukowania rodnika 1,1-difenylo-2-pikrylohydrylowego – DPPH* (Yen i in. 1995).

Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach rozpoczynając od surowca wzbogacającego badane pieczywo (sok, wyłoki, proszek z korzenia buraka ćwikłowego) poprzez międzyprodukty - ciasta, kończąc na miększu i skórce chleba. Wyniki końcowe podano dla badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego w $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g ś.m.}$, dla ciast – w przeliczeniu na $\mu\text{mol Trolox}/\text{świeży kęs ciasta użyty do wypieku (250 g)}$, a dla chleba – w $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g ś.m.}$ skórki (15% masy chleba) lub 100 g ś.m. miększu chleba (85% masy chleba).

- **Oznaczanie aktywności przeciwutleniającej metodą ABTS***

Do oznaczeń wykorzystano przygotowane ekstrakty metanolowe oraz spektrofotometr Nicolet Evolution 300 PC (Thermo Fisher Scientific, USA) wraz z oprogramowaniem. Pomiary dotyczyły kolorymetrycznego oznaczenia wytworzonych rodników w wyniku barwnej reakcji odczynnika ABTS z związkami o charakterze utleniającym pochodzących z badanej próbki (Re i in. 1999).

Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach rozpoczynając od surowca wzbogacającego badane pieczywo (sok, wyłoki, proszek z korzenia buraka ćwikłowego) poprzez międzyprodukty - ciasta, kończąc na miększu i skórce chleba. Wyniki końcowe podano dla badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego w $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g ś.m.}$, dla ciast – w przeliczeniu na $\mu\text{mol Trolox}/\text{świeży kęs ciasta użyty do wypieku (250 g)}$, a dla chleba – w $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g ś.m.}$ skórki (15% masy chleba) lub 100 g ś.m. miększu chleba (85% masy chleba).

4.2.8. Analiza statystyczna

Do opracowania uzyskanych wyników badań wykorzystano program Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., USA) i aplikację RStudio (R-Tools Technology Inc., Kanada). Obliczono wartości średnie, odchylenia standardowe (SD) wartości średniej oraz wykonano test istotności statystycznej (jednoczynnikowa i dwuczynnikowa analiza wariancji; test Duncana) oraz opracowano mapy ciepła zależności pomiędzy badanymi parametrami ciasta i chleba. Opracowane wyniki badań przedstawiono w tabelach lub na wykresach.

4. Wyniki i dyskusja

4.1. Wyniki badań surowców i międzyproduktów

Badania jakości surowców i półproduktów objęły oznaczenia podstawowych wskaźników jakości mąki, w tym tych decydujących o jej przydatności do wypieku oraz analizę jakościową i ilościową barwników betalainowych i zdolności przeciwutleniającej zastosowanych dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego oraz ich późniejszej zawartości w cieście.

4.1.1. Mąka i mieszanki wypiekowe

W tabeli 12 przedstawiono wyniki analizy fizykochemicznej mąki i mieszanek mąk zastosowanych do produkcji chlebów wzbogacanych tj. mąki pszennej typ 650 i mieszanek: pszenno-żytniej (4:1) i pszenno-owsianej (4:1).

Tabela 12. Charakterystyka fizykochemiczna mąki pszennej i mieszanek mąk użytych do wypieku chleba

Badana mąka/ mieszanka mąk	Wilgotność [%]	Kwasowość ogólna [stopnie kwasowości]	Kwasowość tłuszczowa [mg KOH/100g s.m.]	Liczba opadania [s]	Zawartość skrobi [% s.m.]	Zawartość białka ogólnego [% s.m.]	Zawartość popiołu całkowitego [% s.m.]
Mąka pszenna	13,15 ^b ±0,32	2,97 ^c ±0,10	48,35 ^a ±0,06	456 ^b ±14	77,0 ^a ±0,5	12,8 ^b ±0,0	0,67 ^a ±0,02
Mieszanka pszenno-żytnia 4:1	12,83 ^b ±0,22	2,73 ^b ±0,08	51,61 ^a ±5,58	297 ^a ±8	78,9 ^b ±0,1	12,1 ^a ±0,1	0,76 ^b ±0,02
Mieszanka pszenno-owsiana 4:1	12,12 ^a ±0,20	2,31 ^a ±0,03	44,85 ^a ±3,07	490 ^c ±26	77,1 ^a ±0,6	13,3 ^c ±0,1	1,11 ^c ±0,01

a..c – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$.

Wartość wypiekową mąki określa się metodami bezpośrednimi np. próbnym wypiekiem laboratoryjnym pieczywa lub metodami pośrednimi. Metody pośrednie dotyczą składników mąki biorących udział w tworzeniu się struktury ciasta. Do tych składników należą głównie woda, białko, skrobia, związki mineralne i enzymy amylolityczne mąki. Zawartość wody wyrażona wilgotnością mąki [%] decyduje pośrednio o ilości wody dodawanej do ciasta, czyli jego konsystencji, strukturze tworzonego się glutenu i finalnie ilości zatrzymanego dwutlenku węgla wytworzonego przez drożdże. Standardowa wilgotność mąki pszennej wynosi 14%, gdyż taki poziom zawartości wody gwarantuje uzyskanie pieczywa o optymalnej objętości bochenka i porowatości miękiszu. Kolejnym składnikiem jest białko. Dla mąki chlebowej pszennej niskiego typu są to przede wszystkim białka glutenowe (gliadyna i glutenina). Ich zawartość i proporcja

gliadyny do gluteniny w mące warunkuje nie tylko charakter struktury glutenu ciasta, ale decyduje o takich cechach pieczywa jak objętość, porowatość miękiszu, czy grubość i wybarwienie skórki. Skrobia poddana rozkładowi katalizowanemu przez α -amylazę mąki jest głównym substratem dla drożdży, czyli pośrednio oba te składniki decydują o przebiegu fermentacji i późniejszym wyglądzie pieczywa (Stępniewska i in. 2013, Zarzycki i in. 2014).

Badana mąka pszenna oraz mieszanki mąk (tabela 12) różniły się istotnie statystycznie pod względem większości badanych wyróżników jakości. Po porównaniu otrzymanych wyników z danymi literaturowymi można określić je jako standardowe, jeśli chodzi o te rodzaje mąk używanych do wypieku pieczywa. Zarzycki i in. (2014) w badaniach mąki pszennej uzyskali wilgotność w granicach od 12,46 do 15,33%. Natomiast Cardoso i in. (2019) dla mąki pszennej o typie 550 i 650 otrzymali odpowiednio wyniki 14,1 i 13,6%.

Aktywność enzymów amylolitycznych badanej mąki pszennej oraz mieszanki pszenno-owsianej wyrażona wartością liczby opadania była niska. Jedynie w mieszance mąki pszennej z mąką żytnią uzyskano istotne obniżenie wartości wymienionego parametru do poziomu odpowiedniej aktywności enzymów amylolitycznych mąki (297 s). Wymieniona mieszanka wyróżniała się blisko połowę mniejszą liczbą opadania niż badana mąka pszenna i mieszanka pszenno-owsiana. Cacak-Pietrzak i in. (2014) w badaniach mąk pszennych pochodzących z ziarna współczesnych i starych odmian pszenicy zanotowali niższe wartości liczby opadania (328-184 s), co skutkowało zakwalifikowaniem do klasy mąk o optymalnych wartościach technologicznych.

Badana mąka i mieszanki pod względem zawartości skrobi różniły się istotnie statystycznie i była ona w granicach od 77,0 – dla mąki pszennej do 78,9% s.m. – dla mieszanki pszenno-żytniej.

Zawartość białka w badanych mieszankach mąk była w zakresie od 12,1 do 13,3% s.m. W porównaniu z badaną mąką pszenną, jej częściowe zastąpienie mąką owsianą w badanej mieszance pszenno-owsianej skutkowało znacznym zwiększeniem zawartości białka ogólnego, natomiast w jej połączeniu z mąką żytnią uzyskano mieszankę o mniejszej zawartości białka. Otrzymane średnie zawartości białka w badanych mąkach i mieszankach (tabela 12) były podobne jak w badaniach Cardoso i in. (2019) – 13,6%, jednak większe niż uzyskane przez Radomskiego i in. (2007), w których badana mąka pszenna zawierała 10,3% białka.

Dużą zawartością popiołu całkowitego [% s.m.] wyróżniała się mieszanka pszenno-owsiana (1,11%), co było skutkiem dodania pełnoziarnistej mąki owsianej. O wiele niższe wartości omawianego parametru zanotowano w badaniach mąki pszennej i mieszanki pszenno-żytniej.

Zaobserwowano istotne zróżnicowanie badanych mąk i mieszanek pod względem kwasowości ogólnej. Natomiast pod względem kwasowości tłuszczowej mąka pszenna i badane

mieszanek mąk nie były zróżnicowane. Największą kwasowość ogólną odnotowano w badaniach mąki pszennej oraz jej mieszanki z mąką żytnią w proporcji 4:1. Mąki te charakteryzowały się większą kwasowością tłuszczową. Różnice w kwasowości ogólnej pomiędzy poszczególnymi mąkami użytymi do wypieku wynosiła średnio 0,40 stopnia kwasowości, a w przypadku kwasowości tłuszczowej średnio 4 mg KOH/100 g s.m. mąki. Zgodnie z PN-A-74022:2003 kwasowość tłuszczowa mąki pszennej powinna wynosić do 50 mg/100 g s.m. mąki. Badana mąka pszenna jak i jej mieszanka z mąką owsianą uzyskały wartości mieszczące się w wymaganym zakresie, było to odpowiednio 48,35 i 44,85 mg KOH/100 g s.m. mąki. Jedynie kwasowość mieszanki pszenno-żytniej była powyżej wymienionej granicy. Najprawdopodobniej było to wynikiem udziału w tej mieszance wypiekowej mąki żytniej. Należy zaznaczyć, że przytoczony zakres wartości odnosi się do mąki pszennej. W przypadku kwasowości ogólnej badanej mąki pszennej oraz mieszanki pszenno-żytniej i pszenno-owsianej odnotowano wyniki w zakresie od 2,73 do 2,31 stopni kwasowości. Uzyskane wyniki badań zarówno kwasowości ogólnej, jak i tłuszczowej (tabela 12) znajdują potwierdzenie w badaniach innych autorów (Szafrńska 2018, Wolska i in. 2012, Sobczyk i in. 2017c, Kawka i in. 2005).

Wartości wskaźników fizykochemicznych wybranych mieszanek mąk (tabela 12) wskazują na ich gorszą przydatność do wypieku chleba, przy czym zastosowano kryteria jak dla mąki pszennej. Według niektórych autorów (Achremowicz i in. 2019) taka mieszanka użyta w połączeniu z odpowiednimi dodatkami funkcjonalnymi może być surowcem do wypieku pieczywa o dobrej jakości.

Najistotniejszym elementem ciasta pszennego jest gluten tworzący się z pęczniejących białek mąki i wody. Od jego ilości w cieście i jego cech jakościowych zależy m.in. przebieg fermentacji i objętość pieczywa (Słowik 2006).

W tabeli 13 przedstawiono charakterystykę ilościową i jakościową glutenu mąki i mieszanek wypiekowych.

Tabela 13. Charakterystyka ilościowa i jakościowa glutenu mąki pszennej i mieszanek wypiekowych

Badana mąka/ mieszanka mąk	Metoda wg ICC Standard nr 155 i 158/ PN-EN ISO 21415-4:2008			Metoda wg PN-EN ISO 21415-1:2007				Wskaźnik sedymentacji [cm ³]
	Zawartość glutenu mokrego [%]	Zawartość glutenu suchego [%]	Indeks glutenu [GI]	Zawartość glutenu mokrego [%]	Elastyczność glutenu [stopnie]	Rozpływalność glutenu [mm]	Liczba glutenowa [LG]	
Mąka pszenna typ 650	44,3 ^b ±0,6	8,3 ^b ±0,6	100 ^c ±0	35,8 ^b ±0,0	2 stopień	6,7 ^a ±1,3	56,0 ^c ±0,6	38 ^a ±1
Mieszanka pszenno-żytnia 4:1	34,1 ^a ±4,5	5,9 ^a ±0,4	58 ^a ±8	31,1 ^a ±1,4	3 stopień	8,7 ^a ±1,3	44,6 ^a ±5,9	40 ^b ±0
Mieszanka pszenno-owsiana 4:1	32,9 ^a ±2,1	5,2 ^a ±0,1	87 ^b ±4	32,2 ^a ±2,0	2 stopień	7,7 ^{a,b} ±1,1	48,3 ^b ±4,1	39 ^{a,b} ±1

a..c – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$.

Pod względem zawartości glutenu mokrego, a dokładnie wyników uzyskanych w obu metodach badań, badana mąka pszenna i mieszanki wypiekowe były zróżnicowane, przy czym więcej glutenu wymyto z ciasta wytworzonego z mąki pszennej. Ilość glutenu wymytego z ciasta pszennego z użyciem zestawu Glutomatic była o 10% większa niż uzyskana w wymywaniu ręcznym. Wprowadzenie do mieszanki z mąką pszenną, mąki żytniej lub owsianej spowodowało zmniejszenie ilości glutenu uzyskanego obiema metodami badań, w porównaniu z mąką pszenną. Prawdopodobnie było to powodem wprowadzenia wraz z mąką żytnią pewnej ilości pentozanów i skrobi, a z mąką owsianą znacznej ilości błonnika pokarmowego rywalizujących o wodę z białkami glutenowymi, tworzące z nimi kompleksy i utrudniające ich wymycie z ciasta. Należy dodać, iż przede wszystkim na zmniejszenie ilości glutenu mokrego wymytego z ciasta z mieszanek wpływ miało zmniejszenie w nich o 20% ilości mąki pszennej powodujące usunięcie części białek glutenowych. Podobne zależności zanotowali Czubaszek i in. (2005) oraz Chen i in. (1998). Cacak-Pietrzak i in. (2014) w badaniach mąk z ziarna pszenicy odmian ekologicznych uzyskali średnią zawartość glutenu mokrego na poziomie od 23,4 do 33,5% i indeksu glutenu (GI) w przedziale od 69 do 89, co jest podobne do wyników badania jakości mąki użytej do wytworzenia mieszanek (tabela 13).

Na dość słabą jakość glutenu badanego ciasta pszennego oraz glutenu ciasta z mieszanek z mąką żytnią lub owsianą wskazują wyniki badań jego jakości, w tym pomiaru jego rozpływalności (6,7-8,7 mm). Zgodnie z PN-A-74022:2003 rozpływalność glutenu mąk chlebowych nie powinna być większa niż 9 mm, natomiast za pożądaną przyjmuje się tą mieszczącą się w zakresie od 5 do 7 mm (Jurga 2003, Sitkowska 2006 Słowik 2006).

W omawianych badaniach (tabela 13) jedynie gluten mąki pszennej był o optymalnej rozpuszczalności mieszczącej się w cytowanym zakresie wartości.

Na jakość glutenu mąki pszennej składa się także jego elastyczność. Badaną mąkę pszenną oraz mieszankę z mąką owsianą w proporcji 4:1 cechował gluten o elastyczności na poziomie drugiego stopnia, natomiast w przypadku mieszanki pszenno-żytniej (4:1) uzyskany gluten był o elastyczności na poziomie 3 stopnia. Świadczy to o lepszej jakości glutenu mąki pszennej i mieszanki wypiekowej z mąką owsianą w porównaniu z mieszanką z udziałem mąki żytniej, pomimo, iż w obu badanych mieszankach zastąpienie mąki pszennej było w takim samym udziale.

Ogólna jakość glutenu mokrego wymytego ręcznie wyrażana jest liczbą glutenową (LG). Jej wartość stanowi wskazówkę dla piekarza co do sposobu prowadzenia ciasta z danej mąki, gdyż pośrednio określa zdolność ciasta do zatrzymywania gazów i odporność na obróbkę mechaniczną. Liczba glutenowa mąki o pożądanych cechach do wypieku powinna być w zakresie od 40-60 (Jakubczyk i Haber 1983). W badaniach własnych odnotowano istotne różnice pomiędzy wynikami liczby glutenowej mąki pszennej oraz mieszanek tej mąki z mąką żytnią lub owsianą (tabela 13), a największą wartość tego wskaźnika uzyskano w badaniach mąki pszennej. Podobnie, jak w przypadku ilości glutenu mokrego na różnice w wartościach liczby glutenowej miał wpływ skład chemiczny badanej mąki pszennej i mieszanek z jej udziałem. Wyniki badań mąki pszennej innych autorów są podobne do uzyskanych w omawianych badaniach własnych. Jankowska i in. (2011) uzyskali liczbę glutenową równą 55,6. Zbliżoną wartość liczby glutenowej do uzyskanych w badaniach mieszanek wypiekowych (tabela 13) uzyskała Sobczyk (2009). Autorka w badaniach handlowej mąki chlebowej uzyskała $LG=45,4$.

Wskaźnik sedymentacji, jest parametrem jakości białek glutenowych mąki. Gdy ilość białek glutenowych jest duża, a w szczególności gluteniny, uzyskany w oznaczeniu osad zawiesziny mącznej ma dużą objętość. Mąka o pożądanych właściwościach wypiekowych powinna dać wskaźnik sedymentacji nie mniejszy niż 25 cm^3 (Słowik 2006, Jurga 2003). Mąka i mieszanki do produkcji wzbogacanych chlebów (tabela 13) nieznacznie różniły się pod względem wskaźnika sedymentacji, który wyniósł od 38 do 40 cm^3 . Świadczy to o dobrej jakości kompleksów białkowych zawartych w badanych układach (mąka lub mieszanka). Podobne wyniki uzyskali Cacak-Pietrzak i in. (2014), Jankowska i in. (2011) oraz Azizi i in. (2006).

Badana mąka pszenna i mieszanki z udziałem mąki żytniej lub owsianej z powodu znacznego udziału mąki pszennej pod względem jakości zawartego w nich glutenu oceniono według wytycznych normy jakości dla mąki pszennej (PN-A-74022:2003). Zgodnie z nimi analizowana mąka i mieszanki mąk były średniej lub niskiej jakości. Potwierdzają to szczególnie otrzymane średnie wartości indeksu glutenu (GI) oraz klasyfikacja pod względem jego

elastyczności i rozpuszczalności. Głównym powodem obniżania jakości badanych mieszanek było zmniejszenie ilości białek glutenowych poprzez ujęcie mąki pszennej na rzecz mąki żytniej lub owsianej oraz wprowadzenie wraz z nimi składników konkurujących o wodę przy tworzeniu ciasta (m.in. pentozany, błonnik pokarmowy).

4.1.2. Dodatki z korzenia buraka ćwikłowego

Badania jakości surowców wzbogacających wybrane pieczywo jakim były sok, wytloki lub proszek z korzenia buraka ćwikłowego objęły oznaczenie w nich zawartości substancji prozdrowotnych. Na podstawie uzyskanych wyników oszacowano wielkość udziału wymienionych dodatków w recepturach badanych chlebów w celu uzyskania istotnej poprawy wartości prozdrowotnej wybranych rodzajów chleba. Zawartość barwników betalainowych w badanych dodatkach przedstawiono w tabeli 14.

Tabela 14. Zawartość barwników betalainowych w badanych dodatkach z korzenia buraka ćwikłowego

Badany dodatek	Zawartość suchej masy [%]	Barwniki fioletowe [mg betacyjaniny/100 g produktu]	Barwniki żółte [mg betaksantyny/100 g produktu]	Barwniki ogółem [mg/100 g produktu]
Sok	8,3 ±1,2	383,39 ^b ±9,97	203,03 ^b ±7,58	586,42 ^b ±17,46
Wytłoki	33,5 ±0,5	334,51 ^a ±12,95	139,34 ^a ±0,51	473,84 ^a ±13,08
Proszek	91,7 ±2,0	670,98 ^c ±30,17	378,33 ^c ±15,75	1049,30 ^c ±45,92

a..c – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$.

Porównanie średnich zawartości barwników betalainowych świadczy o istotnych różnicach pomiędzy poszczególnymi dodatkami. Największą zawartością barwników fioletowych (mg betacyjaniny/100 g produktu) wyróżniał się proszek z korzenia buraka ćwikłowego, a zawartość była prawie dwukrotnie większa niż w soku czy wyciekach. Zawartość barwników żółtych (mg betaksantyny/100 g produktu) także była największa w proszku z buraka i o ok. 50% większa niż w soku i wyciekach. Podobną charakterystykę związków betalainowych produktów z buraka ćwikłowego otrzymali Wruss i in. (2015). Slavov i in. (2013) także wykazali podobne zawartości barwników w czystych sokach z korzenia buraka ćwikłowego odmiany Detroit Dark Red oraz sokach owocowo-warzywnych będących mieszanką soku z korzenia buraka ćwikłowego oraz owoców aronii i czarnej porzeczki. Mniejsze zawartości barwników betalainowych w badanym materiale roślinnym otrzymali Czapski i in. (2009), co dowodzi, podobnie jak w badaniach Mazza i Chubey (1985) oraz Goldman (1995), że zawartość barwników betalainowych w surowcu oraz produktach na jego bazie zależy od wielu czynników, głównie od wielkości korzeni, odmiany buraka i warunków uprawy.

Oprócz omówionych barwników betalainowych korzeń buraka ćwikłowego zawiera także inne rodzaje substancji o charakterze przeciwutleniającym. Ich aktywność można określić za

pomocą kationorodnika ABTS⁺· lub wolnych rodników DPPH· oraz jako ogólną zawartość związków polifenolowych. Wyniki badań dodatków w wymienionym zakresie przedstawiono w tabeli 15.

Tabela 15. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego

Badany dodatek	Zawartość suchej masy [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/100 g produktu]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/100 g produktu]	
			metoda z ABTS ⁺ ·	metoda z DPPH·
Sok	8,3 ±1,2	3651,17 ^b ±20,12	18609,64 ^b ±279,84	1551,96 ^b ±18,33
Wytłoki	33,5 ±0,5	2759,52 ^a ±18,07	10521,26 ^a ±251,32	906,42 ^a ±16,46
Proszek	91,7 ±2,0	5579,80 ^c ±7,44	34150,02 ^c ±103,40	2773,18 ^c ±6,77

a..c – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy p≤0,05.

Zanotowane średnie wartości pomiarów potencjału przeciwutleniającego dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego różniły się istotnie statystycznie, a największym potencjałem antyoksydacyjnym wyróżniał się był proszek. Ponadto, ten dodatek miał o połowę większą zawartość polifenoli ogółem niż ta w soku i dwukrotnie większą w porównaniu do wartości uzyskanej w badaniach wytlóków. Prawdopodobnie było to powodem wysokiej koncentracji związków biologicznie aktywnych w badanym proszku z korzenia buraka ćwikłowego ze względu na znaczne odparowanie wody (zawartość suchej masy wyniosła 91,7%). Zbliżone wyniki zanotowali także Wruss i in. (2015), Slavov i in. (2013), Sawicki i in. (2016) i Desseva i in. (2020).

4.1.3. Ciasta

4.1.3.1. Wyniki badań jakości ciast wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

4.1.3.1.1. Ciasta pszenne

W tabelach 16-19 przedstawiono wyniki oznaczenia wodochłonności mąki i parametrów analiz jakości ciast pszennych i mieszanych z zastosowaniem odpowiednio dodatku soku, wyłóków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego.

Najbardziej powszechnym urządzeniem do badania cech fizycznych ciasta w czasie jego wytwarzania jest farinograf. Za jego pomocą określa się podstawowe parametry świadczące o właściwej przydatności mąki do wypieku, przede wszystkim szybkość chłonięcia wody przez białka glutenowe (wodochłonność mąki), czas tworzenia się ciasta (czas rozwoju ciasta), czas utrzymania pożądanych cech wypiekowych wyznaczanych standardowo dla umownej konsystencji 500 FU (czas stałości ciasta), stopień utraty elastyczności i wzrostu rozpływalności przez gluten ciasta (rozmiękczenie ciasta) oraz umowny wskaźnik jakości mąki (farinograficzna liczba jakości) (Jakubczyk i Haber 1983, Standard ICC 115/1).

W tabeli 16 przedstawiono wyniki analizy farinograficznej badanego ciasta pszenne i ciast pszennych z dodatkami. Przykładowe wykresy z analiz farinograficznych przedstawiono jako wykresy 4-7 (załącznik 1).

Tabela 16. Wyniki analizy farinograficznej ciast z mąki pszennej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wodochłonność mąki [%]	Wodochłonność mąki [%] (korekta do wilgotności mąki 14%)	Cechy farinograficzne ciasta			Liczba jakości
				czas rozwoju [min]	czas stałości [min]	rozmięczenie [FU]	
Próba kontrolna (bez dodatków)		57,6 ^{d,e,f} ±0,2	57,4 ^f ±0,2	2,3 ^a ±0,2	11,0 ^{b,c,d,e,f} ±0,4	62 ^e ±8	63 ^a ±12
Z udziałem soku	25%	58,1 ^{e,f} ±0,7	57,8 ^f ±0,7	2,3 ^a ±0,3	7,1 ^{a,b,c} ±1,0	59 ^e ±5	77 ^{a,b} ±12
	50%	57,3 ^{d,e} ±0,2	56,3 ^d ±0,2	8,9 ^d ±0,3	13,87 ^{e,f} ±0,06	0 ^a ±0	144 ^{d,e} ±2
	75%	58,2 ^f ±0,2	57,2 ^{e,f} ±0,2	11,1 ^e ±2,3	10,8 ^{b,c,d,e,f} ±0,8	0 ^a ±0	127 ^{c,d,e} ±3
	100%	57,6 ^{d,e,f} ±0,5	56,6 ^{d,e} ±0,5	7,9 ^{c,d} ±0,2	12,2 ^{d,e,f} ±0,1	66 ^e ±1	126 ^{c,d,e} ±3
Z udziałem wytlóków	2,5%	57,2 ^d ±0,3	56,2 ^d ±0,3	2,2 ^a ±0,2	6,2 ^a ±0,3	47 ^d ±1	55 ^a ±1
	5%	55,7 ^c ±0,2	54,7 ^c ±0,2	2,2 ^a ±0,4	8,9 ^{a,b,c,d} ±2,5	35 ^c ±5	97 ^{a,b,c,d} ±31
	7,5%	54,8 ^b ±1,3	53,8 ^b ±1,3	2,1 ^a ±0,1	10,3 ^{a,b,c,d,e} ±7,2	37 ^c ±9	118 ^{b,c,d,e} ±70
	10%	52,8 ^a ±0,2	51,8 ^a ±0,2	3,1 ^a ±0,1	14,9 ^f ±4,7	23 ^b ±6	153 ^e ±41
Z udziałem proszku	2,5%	54,2 ^b ±0,1	53,2 ^b ±0,1	7,1 ^{b,c} ±1,1	9,8 ^{a,b,c,d,e} ±0,4	0 ^a ±0	118 ^{b,c,d,e} ±0
	5%	54,4 ^b ±0,1	53,4 ^b ±0,1	6,2 ^b ±0,4	6,5 ^{a,b} ±0,2	0 ^a ±0	90 ^{a,b,c} ±3
	7,5%	54,3 ^b ±0,1	53,3 ^b ±0,1	6,2 ^b ±0,3	6,2 ^a ±0,1	0 ^a ±0	80 ^{a,b,c} ±3
	10%	54,2 ^b ±0,2	53,2 ^b ±0,2	5,9 ^b ±0,1	5,9 ^a ±0,2	0 ^a ±0	82 ^{a,b,c} ±1
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Za chłonięcie wody w trakcie miesienia ciasta pszennego odpowiadają przede wszystkim białka glutenowe oraz skrobia uszkodzona. Ilość i jakość tych składników chemicznych determinuje ogólny charakter wytworzonego ciasta (Jakubczyk i Haber 1983). Wodochłonność mąki i mąki z dodatkami różniła się statystycznie istotnie w zależności od rodzaju użytego dodatku wzbogacającego na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i jego udziału procentowego w cieście (tabela 16). W próbie kontrolnej przy konsystencji standardowej 500 FU zanotowano

średnią wodochłonność na poziomie 57,6%. Podobne wartości otrzymano przy zastosowaniu poprawki dotyczącej wilgotności 14% (57,4%). Zbliżone wartości wodochłonności mąki pszennej bez dodatków (tabela 16) zanotowali Cacak-Pietrzak i in. (2014), Romankiewicz i in. (2013), Wolska i in. (2011), Achremowicz i in. (2019). Największe istotne różnice w porównaniu z mąką pszenną bez dodatku zanotowano w badaniach mąki z proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego, gdyż nastąpiło obniżenie wodochłonności o 4%. Przy porównaniu średnich wartości wodochłonności mąki (tabela 16) z uzyskanymi przez Kohajdova i in. (2013) w badaniach ciasta pszennego wzbogaconego udziałem (5, 10, 15%) proszku z wytlóków z grejpfruta stwierdzono znaczne różnice. Autorzy ci zanotowali wzrost wodochłonności mąki pod wpływem badanego dodatku (67,5-74,9%) w stosunku do próby kontrolnej (58,3%). Największą wartością była ta dla maksymalnego udziału dodatku wysokobłonnikowego, co jest odwrotną zależnością niż zaobserwowano w badaniach własnych (tabela 16) z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego. Podobna sytuacja wystąpiła przy porównaniu z wodochłonnością mąki pszennej uzyskaną przez Chareonthaikij i in. (2016) w badaniach udziału proszku z ananasa w cieście pszennym. Natomiast zanotowaną w badaniach (tabela 16) zależność obniżenia wodochłonności mąki pod wpływem udziału proszku buraczanego zanotowali Davoudi i in. (2020) w badaniach udziału (5, 10, 15%) proszku z dyni w cieście pszennym. Wodochłonność mąki przy 15% udziale proszku z dyni (56,2%) była o 5,5% mniejsza w porównaniu z próbą kontrolną (58,1%).

Badania reologiczne ciasta z użyciem farinografu służą do badania jakości zawartego w nim glutenu. Do tego celu służą pozostałe parametry farinograficzne jak: czas rozwoju, czas stałości i rozmiękczenie ciasta (Jakubczyk i Haber 1983). Gluten badanej mąki był o dość słabej jakości, na co wskazuje krótki czas rozwoju ciasta kontrolnego (2,3 min). Parametr ten w badaniach ciast z udziałem soku lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego uległ zmianie w porównaniu z próbą kontrolną. Ciasta z udziałem soku na poziomie 50, 75 i 100% zastąpienia wody w porównaniu z próbą kontrolną odróżniały się najdłuższym czasem rozwoju, odpowiednio 8,9, 11,1 i 7,9 minut. Istotne zależności czasów rozwoju ciasta kontrolnego i ciast badanych potwierdziła także mapa ciepła (wykres 55, załącznik 17). W badaniach ciast pszennych z dodatkiem proszku z korzenia buraka ćwikłowego odnotowano czas rozwoju w granicach od 5,9 do 7,1 minut i były istotnie różne w porównaniu z wynikami badań czasu rozwoju ciasta kontrolnego. Udział wytlóków nie wpłynął na czas rozwoju ciasta w porównaniu z próbą kontrolną. Dane literaturowe wskazują, że zastosowanie dodatków funkcjonalnych zmienia właściwości glutenu tworzącego się w cieście pszennym. Achremowicz i in. (2019) odnotowali czas rozwoju ciasta pszennego ok. 5,1 min, a ciasta z mąki pszennej z mąką z miłki abisyńskiej (95:5) – 5,3 min. Wydłużenie czasu rozwoju ciasta pszennego po zastosowaniu dodatku produktów bogatych w błonnik pokarmowy zanotowali

także Sudha i in. (2007), którzy badali wpływ suszonych wyłoków jabłkowych na cechy reologiczne ciasta pszennego oraz Tolve i in. (2021) w badaniach ciast pszennych z dodatkiem proszku z wyłoków winogronowych.

W omawianych badaniach ciast pszennych uzyskano istotne różnice w zakresie czasu stałości ciasta. Średni czas stałości ciasta kontrolnego wyniósł 11,0 minut. W przypadku ciast z udziałem soku i wyłoków czas stałości ciasta wydłużył się (maksymalnie o 5 minut). Uzyskane wyniki potwierdził układ korelacji na mapie ciepła (wykres 55, załącznik 17). Stałość badanych ciast z udziałem proszku buraczanego była od 1-5 minut krótsza. Bachir i in. (2014) w badaniach ciast pszennych z 2% udziałem błonnika jabłkowego, gruszkowego i daktylowego zanotowali stałość ciasta wynoszącą odpowiednio 31,0; 19,0 i 29,0 minut, a która była nawet 7-krotnie większa niż stałość ciasta kontrolnego (4,0 minuty). Są to wartości znacznie większe niż te uzyskane w omawianych badaniach własnych (tabela 16). Wynika to głównie z różnic pomiędzy zawartością błonnika pokarmowego w zastosowanych różnych dodatkach funkcjonalnych. Zaobserwowaną w badaniach własnych zależność wydłużenia czasu stałości ciasta pod wpływem udziału dodatku warzywnego potwierdzają także wyniki badań innych autorów (Sudha i in. 2007, Kohajdova i in. 2014 oraz Masoodi i in. 2001).

Ważnym wskaźnikiem jakości wytworzonego w cieście glutenu jest także rozmiękczenie ciasta, będące cechą określającą spadek jego odporności na miesienie, odnoszącą się głównie do utraty elastyczności i wzrostu rozpływalności glutenu (Jakubczyk i Haber 1983). Rozmiękczenie badanego ciasta kontrolnego wyniosło 62 FU (tabela 16). Wskazane jest, aby wartości tego parametru były jak najmniejsze, co jest związane z wysoką jakością technologiczną używanej do wypieku mąki. W omawianych badaniach ciast pszennych odnotowano istotny wpływ dodatków buraczanych na jakość ciasta. W badaniach prób z 50 i 75% udziałem soku oraz we wszystkich ciastach z proszkiem z korzenia badanego warzywa rozmiękczenie ciasta było równe zeru. Taka sytuacja także nie jest korzystna pod względem technologicznym, gdyż świadczy o zbyt zbitej konsystencji ciasta, co szczególnie nie sprzyja uzyskaniu optymalnej objętości bochenka. Podobne obniżenie wartości omawianego parametru pod wpływem dodatku błonnika do ciasta zaobserwowali także Bachir i in. (2014), gdyż próba kontrolna miała rozmiękczenie równe 60 FU, a warianty badane – 20 FU. Tolve i in. (2021) dla 10% udziału proszku z wyłoków winogronowych (67 FU) uzyskali rozmiękczenie ciasta o 9 FU mniejsze od próby kontrolnej ciasta pszennego (76 FU). Według cytowanych autorów oraz Girard i Awika (2020) obniżenie wartości rozmiękczenia ciasta, ale także wydłużenie czasu rozwoju i stałości ciasta było powodem zachodzących reakcji pomiędzy związkami polifenolowymi i garbnikowymi z produktów warzywnych lub owocowych dodanych do ciasta, a białkami glutenowymi mąki pszennej

(w szczególności gluteniną). Podobne zjawiska mogły mieć miejsce w badanych ciastach pszennych z dodatkiem produktów z korzenia buraka ćwikłowego.

W metodzie ICC (ang. International Association for Cereal Science and Technology) jest określona liczba jakościowa (ang. Farinograph Quality Number). Im jej wartość jest większa tym gluten badanej mąki jest „mocniejszy” (Standard ICC 115/1). Analiza statystyczna omawianych wynikach badań (tabela 16) potwierdziła istotny wzrost wartości tego parametru dla ciast z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego w porównaniu z ciastem kontrolnym. Szczególnie dotyczyło to udziału soku na poziomie 50, 75 i 100% w miejsce wody (w recepturze ciasta), wytlóków - przy wartości 7,5 i 10% masy mąki i proszku na poziomie 2,5% masy mąki. Przy porównaniu tych wyników z otrzymanymi przez Wang i in. (2022) można stwierdzić bardzo duże podobieństwo, gdyż cytowani autorzy zanotowali wartości od 106 do 164 dla badanych mieszanek mąk pszenno-jęczmiennych z 6% udziałem dodatku glutenu witalnego.

Analiza statystyczna wyników analizy farinograficznej ciasta (tabela 16) wykazała istotny wpływ zarówno rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i wielkości ich udziału na badane wyróżniki jakości. Analiza wyników badań przy użyciu mapy ciepła (wykres 55, załącznik 17) potwierdziła zaobserwowane istotne zróżnicowanie wartości. Próby badane z udziałem soku buraczanego wykazały cechy farinograficzne ciasta zbliżone do próby kontrolnej. Natomiast próby z udziałem wytlóków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego zakwalifikowano do drugiej grupy skupień. Zaobserwowano także istotne zależności pomiędzy wartościami średnimi wodochłonności prób badanych, a ich rozmiękczeniem oraz pomiędzy czasem rozwoju, czasem stałości, a farinograficzną liczbą jakości.

Uzupełnieniem analiz farinograficznych są badania reologiczne przeprowadzane przy użyciu ekstensografu. Analizy ekstensograficzne pozwalają na uzyskanie informacji o zachowaniu się białek glutenowych mąki przy rozciąganiu ciasta (Brabender 2009, Jakubczyk i Haber 1983).

Wyniki uzyskane w analizie ekstensograficznej ciasta z badanej mąki pszennej oraz ciast z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego przedstawiono w tabeli 17, a przykładowe krzywe ekstensograficzne na wykresach 16-19 (załącznik 4).

Tabela 17. Wyniki analizy ekstensograficznej ciast z mąki pszennej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wodochłonność ekstensograficzna [%]	Energia podnoszenia się ciasta [cm ²]			Opór ciasta na rozciąganie [EU]			Rozciągliwość glutenu ciasta [mm]			Opór ciasta na zrywanie [EU]			Współczynnik oporu		
			45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min
Próba kontrolna (bez dodatków)		54,9	108,5 ^a ± 6,4	118,5 ^a ±3,5	107,0 ^{a,b} ±9,9	323,5 ^{a,b} ±2,1	372,5 ^{a,b} ±3,5	373,5 ^a ±0,7	175,0 ^{c,d,e} ±5,7	174,0 ^{d,e} ±4,2	155,5 ^e ±9,2	449,5 ^a ±7,8	508,0 ^a ±7,1	499,5 ^a ±24,7	1,85 ^{b,c} ±0,07	2,15 ^{a,b} ±0,07	2,40 ^b ±0,14
Z udziałem soku	25%	60,0	127,5 ^b ±6,4	153,0 ^b ±16,9	155,0 ^d ±7,1	281,0 ^a ±26,9	350,0 ^a ±8,5	364,5 ^a ±7,8	210,0 ^g ±21,2	206,0 ^f ±8,5	199,5 ^g ±4,9	444,0 ^a ±24,0	564,5 ^{a,b} ±45,9	579,5 ^{b,c} ±2,1	1,35 ^a ±0,21	1,70 ^a ±0,00	1,80 ^a ±0,00
	50%	58,6	144,5 ^c ±6,4	196,5 ^c ±28,9	203,0 ^e ±2,8	329,0 ^{b,c} ±2,8	516,0 ^{d,e} ±5,7	569,5 ^e ±15,5	199,0 ^{f,g} ±4,2	194,5 ^{e,f} ±30,4	181,0 ^f ±0,0	545,0 ^d ±8,5	786,5 ^d ±30,4	843,5 ^f ±16,3	1,65 ^{a,b} ±0,07	2,70 ^b ±0,42	3,15 ^{c,d} ±0,07
	75%	58,6	176,5 ^d ±10,6	228,5 ^d ±20,5	206,0 ^{e,f} ±8,5	434,0 ^f ±14,1	708,5 ^g ±14,8	700,5 ^g ±0,7	187,5 ^{e,f} ±9,2	171,0 ^{c,d,e} ±11,3	157,5 ^e ±2,1	719,5 ^f ±7,8	1028,0 ^e ±19,8	1030,0 ^g ±69,3	2,30 ^{c,d,e} ±0,00	4,15 ^d ±0,21	4,45 ^e ±0,07
	100%	58,6	214,0 ^e ±14,14	222,5 ^{c,d} ±24,7	224,0 ^f ±11,3	591,5 ^h ±6,4	932,5 ^h ±51,6	904,0 ^h ±24,0	177,5 ^{d,e,f} ±7,8	139,5 ^b ±14,8	145,5 ^{c,d,e} ±4,9	928,5 ^g ±10,6	1279,0 ^f ±9,9	1255,0 ^h ±32,5	3,35 ^h ±0,07	6,75 ^e ±1,06	6,25 ^f ±0,07
Z udziałem wytłoków	2,5%	52,9	100,0 ^a ±2,8	110,5 ^a ±2,1	112,0 ^{a,b,c} ±5,7	329,0 ^{b,c} ±22,6	397,5 ^{a,b,c} ±12,0	423,5 ^{a,b} ±20,5	165,5 ^{b,c,d,e} ±4,9	157,0 ^{b,c,d} ±0,0	155,5 ^e ±2,1	427,5 ^a ±17,7	516,5 ^a ±10,6	534,5 ^{a,b} ±6,4	2,00 ^{b,c,d,e} ±0,14	2,55 ^{a,b} ±0,07	2,70 ^{b,c} ±0,14
	5%	49,1	100,0 ^a ±2,83	106,5 ^a ±10,6	102,0 ^a ±0,0	368,5 ^{c,d,e} ±7,8	421,5 ^{b,c} ±0,7	450,0 ^{b,c,d} ±29,7	156,5 ^{a,b,c,d} ±0,7	151,5 ^{b,c,d} ±10,6	136,5 ^{b,c,d} ±3,5	463,5 ^{a,b} ±10,6	509,5 ^a ±17,7	536,5 ^{a,b} ±9,2	2,35 ^{d,e} ±0,07	2,75 ^b ±0,21	3,30 ^d ±0,28
	7,5%	45,5	112,5 ^{a,b} ±7,8	117,5 ^a ±6,4	126,5 ^{b,c} ±13,4	378,5 ^{d,e} ±4,9	459,5 ^{c,d} ±0,7	506,0 ^d ±28,3	162,0 ^{b,c,d} ±4,2	148,0 ^{b,c} ±5,6	148,5 ^{d,e} ±9,2	496,0 ^{b,c} ±12,7	575,0 ^{a,b} ±11,3	619,0 ^{c,d} ±24,0	2,35 ^{d,e} ±0,07	3,10 ^{b,c} ±0,14	3,40 ^d ±0,00
	10%	43,3	106,5 ^a ±6,4	117,5 ^a ±0,7	123,0 ^{a,b,c} ±12,7	435,5 ^f ±48,8	508,5 ^d ±7,8	490,5 ^{c,d} ±12,0	145,0 ^{a,b} ±2,8	137,5 ^{a,b} ±3,5	147,5 ^{c,d,e} ±4,9	533,0 ^{c,d} ±49,5	626,0 ^{b,c} ±21,2	591,5 ^{b,c} ±6,4	3,00 ^{g,h} ±0,42	3,70 ^{c,d} ±0,14	3,35 ^d ±0,07
Z udziałem proszku	2,5%	52,9	112,5 ^{a,b} ±13,4	122,0 ^{a,b} ±2,8	121,0 ^{a,b,c} ±2,8	340,5 ^{b,c,d} ±13,4	410,5 ^{a,b,c} ±9,2	438,0 ^{b,c} ±57,9	174,5 ^{c,d,e} ±21,9	165,0 ^{c,d} ±5,6	158,0 ^e ±15,5	468,0 ^{a,b} ±7,1	531,5 ^a ±0,7	558,0 ^{a,b,c} ±38,2	1,95 ^{b,c,d} ±0,35	2,50 ^{a,b} ±0,14	2,80 ^{b,c} ±0,71
	5%	51,3	113,0 ^{a,b} ±4,2	125,0 ^{a,b} ±14,1	130,5 ^c ±12,0	430,5 ^f ±13,4	573,0 ^{e,f} ±26,9	639,0 ^f ±43,8	153,0 ^{a,b,c} ±7,0	137,5 ^{a,b} ±10,6	132,0 ^{b,c} ±2,8	528,5 ^{c,d} ±0,7	672,0 ^c ±25,5	736,5 ^e ±65,8	2,85 ^{f,g} ±0,21	4,20 ^d ±0,14	4,85 ^e ±0,21
	7,5%	51,3	107,0 ^a ±1,4	122,5 ^{a,b} ±13,4	117,5 ^{a,b,c} ±9,2	394,5 ^{e,f} ±28,9	602,5 ^f ±75,7	623,0 ^{e,f} ±29,7	161,0 ^{b,c,d} ±12,7	133,5 ^{a,b} ±2,1	127,0 ^b ±4,2	463,0 ^{a,b} ±31,1	671,0 ^c ±73,5	679,0 ^{d,e} ±22,6	2,45 ^{e,f} ±0,35	4,50 ^d ±0,57	4,90 ^e ±0,00
	10%	51,3	110,5 ^{a,b} ±2,1	127,5 ^{a,b} ±0,7	133,5 ^c ±9,2	537,5 ^g ±6,4	762,5 ^g ±51,6	888,0 ^h ±42,4	134,0 ^a ±0,0	114,0 ^a ±5,6	107,0 ^a ±2,8	599,0 ^e ±8,5	835,5 ^d ±47,4	964,5 ^g ±24,7	4,05 ⁱ ±0,07	6,65 ^e ±0,78	8,30 ^g ±0,14
Dwuczynnikowa ANOVA-p																	
czynnik 1			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 2			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 1 x czynnik 2			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,062	0,024	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001

a..i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy p≤0,05; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy p≤0,05; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy p≤0,05; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego udziału w cieście przy p≤0,05.

Wodochłonność ekstensograficzna badanych wariantów mąki pszennej z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego była istotnie różna w porównaniu z próbą kontrolną, a także zależna od rodzaju zastosowanego dodatku z korzenia buraka ćwikłowego (tabela 17). W przypadku mąki pszennej i dodatku soku z korzenia buraka ćwikłowego były one większe o 5% w stosunku do wodochłonności ekstensograficznej mąki pszennej, bez dodatków. Dla pozostałych zastosowanych dodatków buraczanych (wytłoki, proszek) nie zanotowano takich zależności.

Ważnym parametrem w badaniach ekstensograficznych jest energia podnoszenia się ciasta. W omawianych badaniach ciast pszennych (tabela 17) zaobserwowano zwiększanie się wartości tego parametru pod wpływem udziału dodatków i była ona zróżnicowana w zależności od rodzaju dodatku buraczanego oraz jego udziału procentowego w cieście. Ciasto kontrolne wykazało najkorzystniejszy wynik energii podnoszenia się ciasta po 45 minutach fermentacji (108 cm^2). Po tym czasie fermentacji, co także było istotne, rozciągliwość glutenu tego ciasta była największa spośród wszystkich trzech pomiarów, a wartości oporu ciasta na rozciąganie i na zrywanie były najmniejsze i wyniosły odpowiednio 323,5 i 449,5 EU. Na podstawie kształtu wykresu ekstensograficznego badanego ciasta kontrolnego (wykres 16, załącznik 4) stwierdzono, że ciasto charakteryzowało się właściwą elastycznością i rozciągliwością po wybranym czasie fermentacji (45 min), a chleb powinien mieć właściwą objętość i porowatość (Brabender, 2009). Dla porównania udział badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego spowodował istotne zmiany jakości glutenu ciasta w trakcie fermentacji oraz zrywania ciasta. Najbardziej widoczne było to w ciastach z 75 i 100% udziałem soku (wykres 17, załącznik 4) oraz w ciastach z udziałem proszku buraczanego (wykres 19, załącznik 4). Zmiany te były widoczne także w układzie korelacji na mapie ciepła (wykres 56, załącznik 17). Zwłaszcza w tych przypadkach wystąpiło niemal podwojenie średnich wartości energii podnoszenia się ciasta oraz oporów na rozciąganie i zrywanie. Prawdopodobnie było to powodem znacznego rozproszenia się białek glutenowych mąki bądź zachodzeniu reakcji pomiędzy nimi, a związkami z badanymi dodatkami warzywnymi (np. błonnik pokarmowy, polifenole, garbniki) uniemożliwiających tworzenie się elastycznej siatki glutenowej. Potwierdzają to także inni autorzy Sudha i in. (2007) i Turksoy i in. (2011) badający wpływ suszonych wytlóków jabłkowych lub błonnika z korzenia czarnej marchwi na jakość glutenu ciasta pszennego. Sudha i in. (2007) podobnie jak w badaniach własnych (tabela 17) zanotowali wzrost oporu na rozciąganie powiązane ze spadkiem rozciągliwości glutenu ciasta dla prób z udziałem suszonych wytlóków jabłkowych w porównaniu z ciastem kontrolnym. Ciasta z dużym udziałem soku i udziałem proszku buraczanego były „krótkie”, tzn. wymagały wydłużonego czasu fermentacji (powyżej 45 minut, jednak nie dłużej niż 90 minut), zachowały nadaną im formę, ale chleb z nich powstały miałby małą objętość, na co wskazały kształty

krzywych ekstensograficznych na wykresach 17 i 19 (załącznik 4). W badaniach wariantów z udziałem wytlóków (wykres 18, załącznik 4) uzyskano wartości niemalże identyczne jak dla ciasta kontrolnego, jednak ich rosnący udział w cieście spowodował stopniową utratę rozciągliwości glutenu ciasta o ok. 10-30 mm. Taki układ wartości prób badanych w stosunku do próby kontrolnej odzwierciedliła także mapa ciepła (wykres 56, załącznik 17). Podobne zależności zaobserwowali Shebl i in. (2018), w badaniach wpływu dodatku α -amylazy i kwasu L-askorbinowego do ciasta z mąki pszennej o „słabym” glutenie. Cytowani autorzy zanotowali przy maksymalnym dodatku kwasu L-askorbinowego (90 ppm) wartości rozciągliwości glutenu ciasta na poziomie ok. 100 mm. Odwrotną zależność zaobserwowali Voinea i in. (2020), którzy uzyskali wartości parametrów ekstensograficznych, a w szczególności oporu na zrywanie, znacznie mniejsze w porównaniu z omawianymi badaniami (tabela 17), a mianowicie nie więcej niż 350 EU dla ciast z dodatkiem soli morskiej i suchego zakwasu. Natomiast Shebl i in. (2018) także zanotowali duże wartości tego parametru, nawet bliskie 1000 EU, przy maksymalnym udziale α -amylazy (15 ppm) i kwasu L-askorbinowego (90 ppm). Z kolei Davoudi i in. (2020) w badaniach ciasta pszennego z udziałem proszku z dyni (5, 10, 15%) odnotowali rozciągliwość glutenu ciasta w granicach od 162,8 do 193,0 mm i maksymalnie o 77,3 mm większe od rozciągliwości ciasta kontrolnego.

W założeniach technologicznych wartości oporu na zrywanie [EU] ciasta z mąki o pożądanych cechach do wypieku nie powinny przekraczać 500 EU. Czas fermentacji ciasta z takiej mąki jest wówczas optymalny do osiągnięcia chleba o drobnej, równomiernej porowatości miękiszu i dużej objętości bochenka (Jakubczyk i Haber 1983, Brabender 2009). W omawianych badaniach (tabela 17) udział procentowy wybranych rodzajów dodatków z korzenia buraka ćwikłowego istotnie wpłynął także na ten parametr ekstensograficzny. Stwierdzono zwiększanie oporu ciast badanych (z maksymalnymi udziałami dodatków) ponad cytowany poziom. Podobnie, zmianę jakości ciasta pod wpływem dodatków odnotowano w optymalnym czasie fermentacji, który to był znacznie dłuższy niż dla próby kontrolnej. Podobne zwiększenie wartości oporu na zrywanie zaobserwowali Shebl i in. (2018) badający wpływ dodatku α -amylazy i kwasu L-askorbinowego do ciasta z mąki pszennej o „słabym” glutenie.

Na podstawie stosunku wielkości oporu ciasta na rozciąganie do rozciągliwości glutenu ciasta można wyznaczyć współczynnik oporu będący według Standardu ICC 114/1 umownym wskaźnikiem jakości mąki. W oparciu o jego wartość i w połączeniu z wartościami energii podnoszenia się ciasta określa się zachowanie się ciasta podczas fermentacji, jego stałość w kształcie nadanym formą, a tym samym o przydatności technologicznej (wypiekowej) użytej mąki oraz – jeśli użyto – takie – dodatków technologicznych. Ciasto o dobrych właściwościach

wypiekowych posiada średni współczynnik oporu o wartościach od 3 do 5 (Jakubczyk i Haber 1983). Średnie wartości tego parametru uzyskane w omawianych badaniach różnych wariantów ciasta pszennego z dodatkami były istotnie zróżnicowane (tabela 17). Szczególnie pod względem tego, że wybrane do produkcji chleba wzbogacanego rodzaje dodatków z korzenia buraka ćwikłowego spowolniły fermentację ciasta w porównaniu z ciastem kontrolnym (bez dodatków).

Porównanie wyników analizy oraz kształtów eksensogramów pozwoliło na ocenę mąki pszennej i udziału dodatków z korzenia buraka ćwikłowego pod względem zachowania w trakcie miesienia ciasta i w momencie tzw. przebiccia, czyli ponownego miesienia ciasta po upływie połowy czasu fermentacji podstawowej. Ponadto, oceniono zmiany jakości badanych ciast w trakcie fermentacji oraz wyznaczono jej optymalny czas. Szczególnie kształt krzywych ekstensograficznych wskazał sposób postępowania z badanymi ciastami w trakcie ich przygotowania do wypieku. Zmierzone parametry ekstensograficzne potwierdziły założoną hipotezę co do postępowania z ciastem psennym z udziałem badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego zalecającą dłuższą – niż w przypadku próby kontrolnej – fermentację. Dotyczyło to zwłaszcza prób z udziałem soku buraczanego. Prawdopodobnie, w trakcie powstawania ciast z mąki pszennej i dodatków wystąpiły reakcje związków polifenolowych pochodzących z korzenia buraka ćwikłowego z gluteninami mąki pszennej – co wydłużyło czas tworzenia siatki glutenowej oraz spowodowało zmniejszenie jej elastyczności i rozciągliwości w porównaniu z ciastem bez dodatków (Girard i Awika, 2020). W przypadku ciast z wyłokami lub proszkiem buraczanym (tabela 17) dodatkową przyczyną zaobserwowanych zmian w prowadzeniu ciasta było częściowe zastąpienie mąki pszennej na rzecz wspomnianych dodatków w badanych układach.

W przypadku większości zbadanych parametrów zastosowana analiza statystyczna wykazała istotny wpływ zarówno rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i jego udziału procentowego w cieście na uzyskane średnie wartości liczbowe. Jedynie dla rozciągliwości glutenu ciasta po 45 minutach fermentacji ciasta nie wykazano istotnej zależności pomiędzy wybranymi czynnikami jakościowymi na uzyskane wyniki dla tego parametru przy poziomie istotności $p \leq 0,05$. Analiza statystyczna z użyciem mapy ciepła (wykres 56, załącznik 17) wykazała, że próby badane z mniejszym udziałem soku (do 50% masy wody), z udziałem wyłoków (w wszystkich analizowanych dawkach) oraz z 2,5% udziałem proszku buraczanego dały ciasta o parametrach ekstensograficznych najbliższych wynikom badań ciasta kontrolnego. Warianty z udziałem 75 i 100% soku w miejsce wody (jak w cieście kontrolnym) wykazały największe wartości energii podnoszenia się ciasta i oporu na rozciąganie i zrywanie po 90 i 135

minutach fermentacji. Podobny układ skupień na mapie ciepła dotyczył prób badanych z udziałem proszku buraczanego (wykres 56, załącznik 17).

W procesie tworzenia się ciasta oprócz białek glutenowych biorą udział inne składniki mąki, jak skrobia. Stopień uszkodzenia skrobi decyduje także o szybkości chłonięcia przez nią wody. Natomiast w trakcie fermentacji ciasta ziarna skrobi po rozłożeniu przy udziale enzymów amylolitycznych mąki stają się substratem dla drożdży, a dalej do produkcji dwutlenku węgla gromadzonego w cieście. Przydatne są badania właściwości skrobi mąki, takie jak pomiary temperatury początkowej i końcowej kleikowania oraz lepkości maksymalnej zawiesiny mąki (Jakubczyk i Haber 1983).

Wyniki badań amylograficznych przedstawiono w tabeli 18, a przykładowe wykresy uzyskane w badaniach mąki pszennej i mąki z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego przedstawiono w załączniku 7. Wyznaczenie wartości parametrów amylograficznych pozwoliło na charakterystykę podatności na pęcznienie i kleikowanie oraz ocenę poziomu aktywności własnych enzymów amylolitycznych badanej mąki, szczególnie α -amylazy.

Tabela 18. Wyniki analizy amylograficznej zawiesin mąki pszennej z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badana zawiesina		Cechy amylograficzne		
		Temperatura początkowa kleikowania [°C]	Temperatura końcowa kleikowania [°C]	Lepkość maksymalna [BU]
Próba kontrolna (bez dodatków)		59,8 ^d ±0,2	86,6 ^{a,b,c} ±0,5	858,0 ^a ±6,2
Z udziałem soku	25%	61,1 ^d ±0,3	84,8 ^{a,b} ±2,4	1539,7 ^e ±42,1
	50%	60,9 ^d ±1,2	88,5 ^{b,c} ±0,6	1615,7 ^f ±18,9
	75%	62,1 ^d ±0,5	88,8 ^{b,c} ±1,1	2012,7 ^g ±39,7
	100%	61,8 ^d ±2,6	90,2 ^c ±0,3	2491,0 ^h ±24,9
Z udziałem wytlóków	2,5%	59,5 ^d ±0,1	89,3 ^{b,c} ±0,1	1353,7 ^d ±21,6
	5%	59,7 ^d ±0,1	89,4 ^{b,c} ±0,2	1342,7 ^d ±26,6
	7,5%	59,5 ^d ±0,4	89,3 ^{b,c} ±0,3	1228,3 ^c ±3,2
	10%	60,1 ^d ±0,1	89,5 ^{b,c} ±0,2	1211,7 ^c ±10,5
Z udziałem proszku	2,5%	46,2 ^c ±6,0	82,3 ^a ±9,4	1043,7 ^b ±57,5
	5%	30,9 ^{a,b} ±0,2	87,9 ^{b,c} ±0,4	1199,7 ^c ±48,7
	7,5%	34,0 ^b ±1,9	88,8 ^{b,c} ±1,2	1320,7 ^d ±19,0
	10%	30,9 ^a ±0,2	89,2 ^{b,c} ±0,1	1500,7 ^e ±89,0
Dwuczynnikowa ANOVA-p				
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Badane zawiesiny mąki pszennej oraz mąki pszennej z dodatkiem soku lub wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego (wykresy 28, 29, 30, załącznik 7) nie różniły się istotnie pod względem temperatury początkowej kleikowania. Udział proszku w mieszance z mąką pszenną (wykres 31, załącznik 7) skutkował istotnym obniżeniem wartości omawianego parametru. Wraz z zwiększeniem jego udziału w zawiesinie z mąką pszenną, temperatura początkowa kleikowania zawiesiny była istotnie mniejsza, co znalazło potwierdzenie również na mapie ciepła (wykres 58, załącznik 17). Temperatura końcowa kleikowania zawiesin mąki pszennej z dodatkami była od 2 do 5°C wyższa od wyniku uzyskanego w badaniach próby kontrolnej. Achremowicz i in. (2019) uzyskali temperaturę początkową kleikowania w granicach od 60,2°C dla próby kontrolnej do 61,6°C dla próby z 10%-owym udziałem mąki z nasion miłki abisyńskiej. Temperatura końcowa kleikowania tych zawiesin kształtowała się od 87,5 do 88,9°C. Podobnie wyniki badań zawiesin mąki pszennej pięciu różnych odmian pszenicy ozimej uzyskała Stępniewska (2013), gdyż temperatura początkowa kleikowania była w granicach od 55,5 do 57,5°C, zaś koniec kleikowania wystąpił przy temperaturze w przedziale 69,5-76,0°C.

Najistotniejszą cechą amylograficzną jest lepkość maksymalna zawiesiny. To głównie jej wartość kształtuje wygląd wykresu kreślonego w trakcie analizy i to na jej podstawie określa się wartość technologiczną badanej mąki. Dla mąki o wysokiej aktywności α -amylazy dochodzi do rozkładu skrobi do dekstryn co skutkuje gwałtownym spadkiem lepkości zawiesiny w podwyższonej temperaturze w trakcie pomiaru. W przypadku gdy mąka zawiera skrobię trudno rozkładającą się przy jednoczesnej małej ilości enzymów amylolitycznych, amylogram jest stromy i wysoki, a maksymalna lepkość przyjmuje wartość powyżej 500 BU. Mąki o dobrych właściwościach wypiekowych, zawierające skrobię z normalnymi zdolnościami do pęcznienia i kleikowania charakteryzują się wykresem stromo wznoszącym się do góry i osiągają maksymalną lepkość zawiesiny bliską 500 BU (Jakubczyk i Haber 1983).

W omawianych badaniach mąki pszennej (tabela 18) lepkość maksymalna zawiesin była zróżnicowana w zależności od rodzaju dodatku oraz jego udziału procentowego w zawiesinie badanej mąki pszennej. W miarę zwiększania ilości dodatku soku i proszku następował także wzrost lepkości uzyskiwanej zawiesiny. Było to także widoczne w układzie zależności na mapie ciepła (wykres 58, załącznik 17). Dla wariantów z wytlókami zaobserwowano odwrotną zależność, gdyż zwiększenie ich udziału w masie mąki powodował spadek wartości lepkości uzyskanej zawiesiny. Zgodnie z definicją podaną przez Jakubczyka i Habera (1983) optymalne pod względem właściwości wypiekowych wartości lepkości maksymalnej wynoszą 500 BU. We wszystkich badanych wariantach zawiesiny mąki pszennej z dodatkami buraczanymi uzyskano wyniki ponad 1000 BU. W badaniach zawiesin z mąki z wytlókami lub proszkiem były to wartości

ponad 1000 BU, a z udziału soku od 1500 do 2500 BU (tabela 18). Prawdopodobnie było to efektem udziału w zawiesinie dodatków z korzenia buraka ćwikłowego zawierających w składzie m.in. pektyny i błonnik pokarmowy zwiększające lepkość zawiesiny w czasie jej ogrzewania. Podobne zmiany wartości lepkości maksymalnej pod wpływem produktów o wysokiej zawartości błonnika pokarmowego zanotowali także Tolve i in. (2021) w badaniach wpływu udziału proszku z wyłoków winogronowych na składniki mąki pszennej. Codina i in. (2019) na podstawie wyników swoich badań, stwierdzili, że dodatek soli magnezu, soli wapnia, bądź ich połączenia z inuliną przyczyniły się do wzrostu lepkości maksymalnej zawiesin mąki pszennej. Jednocześnie odnotowali, że udział inuliny w mieszance z mąką pszenną spowodował zmniejszenie wartości omawianego parametru.

Analiza statystyczna parametrów amylograficznych (tabela 18) wykazała istotny wpływ zarówno rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i jego udziału procentowego na uzyskane średnie wartości liczbowe.

Zastosowanie fermentografu laserowego było uzupełnieniem wcześniej omówionych analiz reologicznych, gdyż umożliwiło ocenę badanej mąki i mąki z dodatkami warzywnymi pod względem gromadzenia CO₂ wytworzonego przez drożdże w optymalnym czasie końcowego rozrostu ciasta w kęsie i przeznaczenia tej porcji ciasta do wypieku. Dzięki analizie fermentograficznej ustalono potencjalną objętość pojedynczego bochenka chleba.

W tabeli 19 i załączniku 10 przedstawiono wyniki analizy fermentograficznej badanych ciast z mąki pszennej z różnym udziałem badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego.

Tabela 19. Wyniki analizy fermentograficznej ciast z mąki pszennej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Optimalny czas fermentacji ciasta [min]	Całkowita objętość CO ₂ wydzielona w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]	Objętość CO ₂ wydzielona poza ciasto w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]	Objętość CO ₂ zatrzymana w cieście w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]
Próba kontrolna (bez dodatków)		39,0 ^{a,b,c} ±7,1	216,0 ^{b,c,d} ±48,1	26,0 ^a ±19,8	190,0 ^{b,c,d} ±28,3
Z udziałem soku	25%	69,0 ^f ±4,2	270,0 ^d ±14,1	29,0 ^a ±14,1	241,0 ^d ±28,3
	50%	57,0 ^{d,e,f} ±4,2	245,0 ^{c,d} ±7,1	20,0 ^a ±5,7	225,0 ^{c,d} ±12,4
	75%	64,0 ^{e,f} ±0,0	205,0 ^{b,c,d} ±49,5	16,0 ^a ±0,0	189,0 ^{b,c,d} ±49,5
	100%	66,0 ^f ±5,7	230,0 ^{c,d} ±0,0	16,0 ^a ±0,0	214,0 ^{c,d} ±0,0
Z udziałem wytlóków	2,5%	27,0 ^a ±9,9	121,0 ^a ±41,0	9,5 ^a ±13,4	111,5 ^a ±27,6
	5%	61,0 ^{d,e,f} ±1,4	235,0 ^{c,d} ±7,1	12,5 ^a ±10,6	222,5 ^{c,d} ±3,5
	7,5%	40,0 ^{a,b,c} ±5,7	210,0 ^{b,c,d} ±14,1	28,5 ^a ±14,8	181,5 ^{b,c} ±28,9
	10%	48,0 ^{b,c,d} ±8,5	265,0 ^d ±49,5	74,0 ^b ±60,8	191,0 ^{b,c,d} ±11,3
Z udziałem proszku	2,5%	56,0 ^{d,e,f} ±2,8	220,0 ^{b,c,d} ±0,0	24,0 ^a ±1,4	196,0 ^{b,c,d} ±1,4
	5%	58,0 ^{d,e,f} ±5,7	210,0 ^{b,c,d} ±14,1	18,5 ^a ±4,9	191,5 ^{b,c,d} ±19,1
	7,5%	57,0 ^{d,e,f} ±1,4	180,0 ^{a,b,c} ±14,1	24,5 ^a ±0,7	155,5 ^{a,b} ±14,8
	10%	52,0 ^{c,d,e} ±0,0	152,5 ^{a,b} ±10,6	7,0 ^a ±4,2	145,5 ^{a,b} ±14,8
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Porównanie wyników analizy fermentograficznej w zakresie optymalnego czasu fermentacji końcowej badanych ciast pozwoliło zauważyć, że w przypadku zastosowania soku, wytlóków (5% udziału w masie mąki) bądź proszku z korzenia buraka ćwikłowego (wykresy od 40 do 43, załącznik 10), w większości badanych ciast był on niemal dwukrotnie dłuższy w stosunku do czasu zanotowanego w badaniach próby kontrolnej (39,0 min). Inni autorzy (Achremowicz i in. 2019) stwierdzili skrócenie czasu fermentacji w miarę wzrostu procentowego udziału mąki z nasion miłki abisyńskiej w cieście pszennym i dla ciasta z maksymalną ilością dodatku (20%) czas ten był o 41,2% krótszy od uzyskanego w badaniach próby kontrolnej.

Całkowitą objętość dwutlenku węgla w optymalnym punkcie fermentacji stanowiła suma ilości CO₂ zatrzymanego w cieście (przewidywana objętość bochenka po wypieku) oraz ilość CO₂ wydzielonego poza ciasto. Dla próby kontrolnej (ciasto pszenne) były to średnie wartości wynoszące odpowiednio 216,0; 190,0 i 26,0 cm³. Wyróżniającymi się wariantami były próby z 25% i 50% udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego w masie wody, które wykazały

odpowiednio o 50 i 35 cm³ większą objętość dwutlenku węgla zatrzymaną w cieście w porównaniu z próbą kontrolną. Achremowicz i in. (2019) odnotowali, iż w miarę zwiększania udziału procentowego mąki z nasion miłki abisyńskiej w mieszance z mąką pszenną zmniejszyła się ogólna ilość wydzielonego dwutlenku węgla oraz objętość CO₂ zatrzymanego w cieście.

Opierając się na uzyskanych wynikach, wykazano istotny wpływ zarówno rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i jego udziału procentowego na średnie wartości liczbowe parametrów analizy fermentograficznej. Analiza z zastosowaniem mapy ciepła (wykres 57, załącznik 17) wykazała porównywalne zależności właściwości ciast badanych i ciasta bez dodatków, zwłaszcza ilości zatrzymanych i wydzielonych gazów w trakcie fermentacji ciasta.

Całościowa analiza reologiczna badanego ciasta pszennego z udziałem wybranych dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego wskazała na potrzebę modyfikacji sposobu prowadzenia omawianego ciasta. Ciasta pszenne z dodatkami, w szczególności z sokiem buraczanym i proszkiem powinny być mieszane w krótkim czasie i na niskim biegu miesiarki. Ponadto, wskazane byłoby wydłużenia czasu fermentacji, gdyż zachodziła ona wolniej. Ciasta te cechowała mniejsza zdolność do zatrzymywania dwutlenku węgla wytworzonego przez drożdże, co prawdopodobnie skutkowałoby małą i nieregularną porowatością miękiszu i małą objętością bochenka. Potwierdzają to także wyniki badań amylograficznych, ponieważ dodatki zwiększyły lepkość maksymalną zawiesiny układów złożonych z mąki i dodatku z korzenia buraka ćwikłowego.

Najmniejszy wpływ na zachowanie się ciasta pszennego w porównaniu z próbą kontrolną zaobserwowano dla wariantów z udziałem wytlóków. W ich przypadku postępowanie powinno być podobne jak dla próby kontrolnej tzn. standardowa 1-godzinna fermentacja podstawowa z przebicciem ciasta upływie połowy tego czasu i ok. 30 minutowy rozrost ciasta w kęsie.

4.1.3.1.2. Ciasta pszenno-żytnie

Podobnie jak w przypadku ciast z mąki pszennej, ciasta pszenno-żytnie (mieszanka mąki pszennej typ 650 i żytniej typ 720 w stosunku 4:1) zostały poddane ocenie przydatności wybranej mieszanki do wypieku chleba. Określono wpływ wybranych dodatków na bazie buraka ćwikłowego na strukturę glutenu, skrobię i przebieg fermentacji ciasta powstałego z tej mieszanki. W tabelach 20-23 przedstawiono wyniki badań mieszanki i mieszanek z różnym udziałem procentowym soku, wytlóków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego.

Wyniki analizy farinograficznej mieszanki pszenno-żytnej oraz wariantów z dodatkami przedstawiono w tabeli 20, zaś przykładowe wykresy umieszczono w załączniku 2.

Tabela 20. Wyniki analizy farinograficznej ciast z mieszanki pszenno-żytniej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wodochłonność mąki [%]	Wodochłonność mąki [%] (korekta do wilgotności mąki 14%)	Cechy farinograficzne ciasta			Liczba jakości
				czas rozwoju [min]	czas stałości [min]	rozmięczenie [FU]	
Próba kontrolna (bez dodatków)		58,4 ^d ±0,1	57,0 ^d ±0,1	1,9 ^a ±0,8	3,6 ^a ±3,0	35 ^{b,c} ±3	56 ^{a,b} ±5
Z udziałem soku	25%	58,5 ^d ±0,5	57,1 ^d ±0,5	2,5 ^{a,b} ±0,3	7,4 ^{a,b} ±0,1	59 ^{c,d} ±6	99 ^{a,b,c} ±6
	50%	59,6 ^e ±0,2	58,2 ^e ±0,2	5,7 ^{e,f} ±0,2	6,3 ^{a,b} ±0,1	108 ^e ±4	80 ^{a,b,c} ±2
	75%	61,5 ^f ±0,8	60,1 ^f ±0,8	4,2 ^{c,d,e} ±1,8	5,4 ^{a,b} ±0,8	116 ^e ±14	61 ^{a,b} ±25
	100%	61,8 ^f ±2,0	60,4 ^f ±2,0	4,1 ^{b,c,d} ±1,8	5,3 ^a ±0,4	127 ^e ±24	70 ^{a,b,c} ±9
Z udziałem wytlóków	2,5%	58,2 ^d ±0,3	56,8 ^d ±0,3	2,1 ^a ±0,4	4,4 ^a ±1,2	66 ^d ±9	45 ^a ±11
	5%	55,6 ^c ±0,3	54,2 ^c ±0,3	2,7 ^{a,b,c} ±0,1	8,6 ^{a,b} ±0,6	35 ^{b,c} ±6	100 ^{a,b,c} ±38
	7,5%	54,2 ^b ±0,2	52,8 ^b ±0,2	3,2 ^{a,b,c} ±0,2	15,2 ^c ±0,6	21 ^{a,b} ±0	182 ^d ±2
	10%	53,1 ^a ±0,8	51,7 ^a ±0,8	2,3 ^a ±1,1	10,5 ^b ±8,7	28 ^{a,b} ±1	133 ^{c,d} ±10
Z udziałem proszku	2,5%	56,0 ^c ±0,1	54,6 ^c ±0,1	6,6 ^f ±0,6	8,3 ^{a,b} ±0,8	0 ^a ±0	118 ^{b,c} ±5
	5%	56,1 ^c ±0,1	54,7 ^c ±0,1	6,1 ^f ±0,2	6,4 ^{a,b} ±0,0	0 ^a ±0	90 ^{a,b,c} ±2
	7,5%	55,9 ^c ±0,2	54,5 ^c ±0,2	5,4 ^{d,e,f} ±1,2	6,2 ^{a,b} ±0,2	0 ^a ±0	85 ^{a,b,c} ±5
	10%	55,2 ^{b,c} ±0,1	53,8 ^{b,c} ±0,1	6,5 ^f ±0,2	6,3 ^{a,b} ±0,1	0 ^a ±0	84 ^{a,b,c} ±3
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Wodochłonność badanej mieszanki pszenno-żytniej była istotnie zróżnicowana pod wpływem rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego i jego udziału procentowego w mieszance. Próba kontrolna wykazała wodochłonność równą 58,4%. Dla prób badanych z sokiem z korzenia buraka ćwikłowego w miarę stopniowego zwiększania udziału tego dodatku obserwowano zwiększanie wodochłonności mąki. Były wartości 1-3% większe od wodochłonności mieszanki pszenno-żytniej bez dodatków. Odwrotną zależność zanotowano

w badaniach mieszanki mąki wzbogaconej dodatkiem wyłoków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego. W przypadku prób z wyłokami omawiany parametr był o 0,5-5%, a dla prób z proszkiem – o 2-3,5% niższy w porównaniu z próbą kontrolną. Odwrotną zależność wodochłonności mąki od udziału sproszkowanych produktów owocowo-warzywnych w cieście zanotowali Kohajdowa i in. (2014) lub Masoodi i in. (2001) w badaniach wpływu suchych wyłoków jabłkowych na właściwości ciasta pszennego. Kohajdowa i in. (2014) dla prób z udziałem proszku z wyłoków jabłkowych otrzymali wyniki oznaczenia wodochłonność odpowiednio o 2-10% i 5-13% większy niż próba kontrolna (58,6%). Z kolei Masoodi i in. (2001) zanotowali wzrost wodochłonności mąki nie tylko pod względem udziału suszonych wyłoków jabłkowych, ale w zależności od różnej granulacji zastosowanego proszku z wyłoków. Przy maksymalnym badanym udziale dodatku do mąki pszennej (11%) i granulacji do 60 mm wodochłonność mieszanki była o 10% wyższa niż dla próby kontrolnej (59,1%).

Analizy farinograficzne pozwoliły także na ocenę wybranych wariantów ciast pod względem wpływu dodatków z korzenia buraka ćwikłowego na tworzący się gluten. W tym celu wyznaczono wartości takich parametrów jak: czas rozwoju ciasta [min], czas stałości ciasta [min], rozmięczenie [FU] i liczba jakości. Obrazowa klasyfikacja stworzona przez Rohlicha i Bruecknera zakłada, że ciasto z mąki „mocnej” cechuje się czasem rozwoju powyżej 3 min, stałością powyżej 4 minut oraz rozmięczeniem ciasta mniejszym niż 40 FU. Ciasto z mąki o „słabym” glutenie posiadają czas rozwoju poniżej 2 min, czas stałości krótszy niż 1 minuta oraz rozmięczenie większe niż 150 FU (Słowik 2008).

Badane ciasto z mieszanki pszenno-żytniej i ciasto z tej mieszanki z dodatkami buraczanymi cechowały się istotnym zróżnicowaniem pod względem wartości czasu rozwoju ciasta (tabela 20), przy czym czas rozwoju próby kontrolnej był najkrótszy (1,9 min). Udział dodatków wzbogacających na bazie korzenia buraka ćwikłowego spowodował zmiany w strukturze tworzącego się glutenu na co wskazują uzyskane wartości tego parametru. Dla ciast z sokiem było to wydłużenie czasu rozwoju maksymalnie o 4 minuty, a ciasta z 50% udziałem tego dodatku w miejsce wody, uzyskały czas rozwoju równy 6 minut. Nie odnotowano różnicy w czasie rozwoju ciasta badanych wariantów z wyłokami i próby kontrolnej. Z kolei dla prób z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego zanotowano wartości dla tego parametru nawet 3-krotnie większe niż wynik badań ciasta z mieszanki pszenno-żytniej bez dodatku. Taką zależność wydłużenia czasu rozwoju ciasta pod wpływem udziału produktów wysokobłonnikowych potwierdzają także inni autorzy, Collar i in. (2007) w badaniach ciast pszennych z udziałem komercyjnych preparatów błonnikowych na bazie inuliny, buraka cukrowego lub nasion grochu oraz Kohajdowa i in. (2012) w badaniach wpływu udziału (1, 3, 5, 10%) proszku z wyłoków

z korzenia marchwi na parametry farinograficzne i jakość bułek pszennych. Autorzy ci stwierdzili, że udział produktów z dużą zawartością błonnika pokarmowego wydłużył czas rozwoju nawet o 2 minuty w stosunku do próby kontrolnej (Kohajdova i in. 2012).

Czas stałości ciasta [min] określa utrzymanie elastyczności przez wytworzony gluten (Słowik 2008). W badaniach wykazano istotny wpływ udziału w cieście z mieszanki pszenno-żytniej wybranych produktów z korzenia buraka ćwikłowego na ich stałość (tabela 20). Spośród badanych wariantów ciasta z dodatkami największe wydłużenie czasu stałości ciasta zanotowano w przypadku zastosowania 7,5 i 10% udziałem wyłoków w mieszance, których wartości były średnio o 8-13 minut większe niż te uzyskane dla próby kontrolnej (3,6 min). Wskazana zależność została potwierdzona również na mapie ciepła (wykres 55, załącznik 17). Boubaker i in. (2016) zanotowali dwukrotne wydłużenie czasu stałości ciasta pod wpływem 2% udziału w cieście pszennym koncentratu błonnika uzyskanego z główek kwiatostanów karczocha zwyczajnego, podczas gdy próba kontrolna miała czas stałości wynoszący 3,8 minut. Odwrotną zależność pokazali Majzoobi i in. (2011) w badaniach wpływu udziału (1-7%) proszku z wyłoków pomidorowych. Cytowani autorzy odnotowali stopniowe skracanie się czasu rozwoju (o 2 minuty dla 7% udziału) i czasu stałości ciasta (o 3 minuty dla 7% udziału) w stosunku do ciasta kontrolnego, dla którego czas rozwoju wynosił 4 minuty, a jego stałość– 8 minut.

Rozmiękczenie ciasta [FU] jest parametrem określającym wzrost rozplýwalności i jednocześnie spadek elastyczności i stabilności glutenu (Jakubczyk i Haber 1983). Badane ciasta z mieszanki pszenno-żytniej były istotnie zróżnicowane pod względem rozmiękczenia. Ciasto z mieszanki pszenno-żytniej bez dodatku wykazało rozmiękczenie na poziomie 35 FU. W przypadku ciast z udziałem soku buraczanego nastąpił wzrost rozmiękczenia o 24-92 FU w porównaniu z próbą kontrolną. Omówione zależności znalazły potwierdzenie także na mapie ciepła (wykres 55, załącznik 17). Spośród wariantów z dodatkami najkorzystniej oceniono rozmiękczenie ciasta z mieszanki pszenno-żytniej z wyłokami, gdyż w miarę zwiększania ich udziału procentowego w masie ciasta następowało zmniejszenie wartości omawianego parametru (z 66 FU dla próby z 2,5% udziałem do 21 FU dla próby z 7,5% udziałem). Próby badane z dodatkiem proszku buraczanego nie wykazały rozmiękczenia, co było niekorzystną cechą ciasta, ponieważ było zbyt „twarde”, a powstały z takiego ciasta chleb nie osiągnąłby dużej objętości i dobrej porowatości miększu. Z kolei Majzoobi i in. (2011) w badaniach zanotowali wzrost rozmiękczenia ciasta pod wpływem zwiększenia udziału procentowego proszku z wyłoków pomidorowych i było ono maksymalnie 2-krotnie większe w porównaniu z ciastem kontrolnym, pszennym.

Podsumowaniem wszystkich obserwacji była wyznaczona farinograficzna liczba jakości dla analizowanych ciast z mieszanki pszenno-żytniej. Na podstawie istotnie zróżnicowanych wartości liczbowych tego parametru stwierdzono, że najlepszym dodatkiem na bazie korzenia buraka ćwikłowego do ciast z tej mieszanki były wytloki zastosowane na poziomie 5, 10 i 7,5% masy mieszanki, dla których liczba jakości była równa 100 lub znacznie przewyższała tę wartość. Korzystny był też 2,5% udział proszku buraczanego, dla którego zanotowano średnią wartość równą 118. W przypadku pozostałych badanych wariantów, jak i próby kontrolnej liczba jakości była poniżej wartości 100.

Analiza dwuczynnikowa dla wszystkich uzyskanych wartości parametrów farinograficznych pokazała istotne statystycznie zależności dla wpływu rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jego udziału procentowego w cieście, a także ich wzajemnego powiązania. Na podstawie analizy mapy ciepła (wykres 55, załącznik 17) stwierdzono, że próby badane z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego były najbliższe ciastu kontrolnemu pod względem cech farinograficznych. Natomiast pod względem optymalnych cech technologicznych to próby z udziałem wytlóków prezentowały lepszy układ wartości parametrów farinograficznych.

Na podstawie analizy farinograficznej stwierdzono, że prawdopodobnym powodem zmian w obrębie wyznaczonej wodochłonności mieszanki pszenno-żytniej i parametrów farinograficznych prób badanych z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego mogły być dwa czynniki. Pierwszym było zastąpienie mąki pszennej na rzecz mąki żytniej w mieszance wypiekowej w ilości 20%, co zmniejszyło ilość białek glutenowych i osłabiło strukturę glutenu ciasta w uzyskanym układzie. Drugim, prawdopodobnie były zachodzące reakcje pomiędzy białkami glutenowymi mieszanki i pozostałymi składnikami mąki żytniej (dodatkowa porcja skrobi, większa zawartość pentozanów), a składnikami soku, wytlóków i proszku z korzenia buraka ćwikłowego (m.in. polifenole, związki garbnikowe, błonnik pokarmowy).

Kolejnym etapem badań reologicznych były analiza ekstensograficzna. Wyniki uzyskane tą metodą były przydatne do m.in. oszacowania czasu fermentacji ciasta oraz oceny odporność glutenu ciasta na obróbkę mechaniczną. Wyniki analizy ekstensograficznej przedstawiono w tabeli 21, a przykładowe wykresy umieszczono w załączniku 5.

Tabela 21. Wyniki analizy ekstensograficznej ciast z mieszanki pszenno-żytniej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wodochłonność ekstensograficzna [%]	Energia podnoszenia się ciasta [cm ²]			Opór ciasta na rozciąganie [EU]			Rozciągliwość glutenu ciasta [mm]			Opór ciasta na zrywanie [EU]			Współczynnik oporu		
			45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min
Próba kontrolna (bez dodatków)		55,7	76,0 ^a ±7,1	80,0 ^a ±1,4	81,0 ^a ±4,2	336,5 ^a ±4,9	422,5 ^a ±3,5	426,5 ^a ±30,4	139,5 ^{b,c} ±7,8	123,0 ^{b,c} ±2,8	126,5 ^{b,c,d} ±3,5	369,0 ^a ±8,5	449,0 ^a ±0,0	447,5 ^a ±30,4	2,40 ^{a,b} ±0,14	3,45 ^{a,b} ±0,07	3,35 ^{a,b} ±0,35
Z udziałem soku	25%	61,8	90,0 ^a ±1,4	105,0 ^d ±1,4	105,0 ^c ±1,4	348,0 ^a ±1,4	424,5 ^a ±28,9	440,0 ^{a,b} ±0,0	159,0 ^d ±9,9	155,5 ^d ±13,4	153,0 ^f ±5,7	396,5 ^{a,b} ±9,2	496,5 ^b ±28,9	510,5 ^{a,b} ±2,1	2,20 ^{a,b} ±0,14	2,75 ^a ±0,49	2,90 ^a ±0,14
	50%	63,2	113,5 ^b ±6,4	129,5 ^e ±4,9	126,0 ^d ±9,9	368,5 ^{a,b} ±12,0	470,5 ^b ±3,5	522,5 ^{b,c} ±14,8	177,5 ^e ±4,9	162,0 ^d ±8,5	145,0 ^{e,f} ±7,1	460,0 ^{c,d} ±14,1	587,0 ^{d,e} ±11,3	641,5 ^{d,e} ±28,9	2,10 ^a ±0,00	2,90 ^a ±0,14	3,65 ^{a,b} ±0,07
	75%	63,2	135,0 ^c ±1,4	159,5 ^f ±16,3	147,0 ^e ±9,9	447,0 ^{d,e} ±21,2	584,5 ^e ±3,5	614,5 ^d ±6,4	178,0 ^e ±19,8	168,0 ^d ±1,4	155,5 ^f ±6,4	580,5 ^e ±4,9	740,5 ^g ±7,8	758,0 ^f ±2,8	2,50 ^{b,c} ±0,42	3,50 ^{a,b} ±0,00	3,95 ^{a,b,c} ±0,07
	100%	63,2	139,5 ^c ±28,9	150,5 ^f ±0,7	150,5 ^e ±7,8	542,0 ^g ±53,7	716,5 ^g ±3,5	789,5 ^f ±64,3	149,0 ^{c,d} ±9,9	132,0 ^{b,c} ±4,2	124,0 ^{b,c,d} ±4,2	684,0 ^f ±83,4	887,0 ^h ±8,5	942,5 ^g ±79,9	3,65 ^e ±0,07	5,45 ^d ±0,21	6,35 ^{e,f} ±0,78
Z udziałem wyłoków	2,5%	52,4	85,5 ^a ±0,7	89,5 ^{a,b,c} ±3,5	92,5 ^{a,b,c} ±3,5	354,0 ^a ±8,5	436,0 ^{a,b} ±5,7	454,0 ^{a,b} ±59,4	147,5 ^{c,d} ±4,9	132,0 ^{b,c} ±9,9	138,5 ^{d,e} ±13,4	391,0 ^{a,b} ±5,7	479,0 ^{a,b} ±2,8	494,0 ^{a,b} ±53,7	2,40 ^{a,b} ±0,14	3,30 ^{a,b} ±0,28	3,35 ^{a,b} ±0,78
	5%	49,4	87,0 ^a ±2,8	97,5 ^{b,c,d} ±4,9	91,5 ^{a,b,c} ±2,1	411,5 ^{c,d} ±6,4	508,5 ^c ±23,3	512,0 ^{a,b} ^c ±50,9	133,0 ^{a,b,c} ±2,8	125,0 ^{b,c} ±0,0	118,0 ^b ±11,3	441,5 ^{b,c,d} ±12,0	544,0 ^c ±24,0	551,5 ^{b,c} ±45,9	3,10 ^d ±0,00	4,05 ^{b,c} ±0,21	4,40 ^{b,c} ±0,85
	7,5%	47,9	90,0 ^a ±1,4	92,0 ^{a,b,c} ±1,4	93,0 ^{a,b,c} ±7,1	395,0 ^{b,c} ±11,3	468,5 ^b ±21,9	503,0 ^{a,b} ^c ±33,9	141,0 ^{b,c} ±4,2	128,0 ^{b,c} ±4,2	123,0 ^{b,c} ±0,0	431,0 ^{b,c} ±8,5	508,0 ^b ±19,8	543,5 ^{b,c} ±36,1	2,80 ^{c,d} ±0,14	3,70 ^{a,b} ±0,28	4,10 ^{b,c} ±0,28
	10%	45,0	94,5 ^a ±6,4	88,0 ^{a,b} ±4,2	99,0 ^{b,c} ±1,4	458,0 ^e ±14,1	533,0 ^{c,d} ±36,8	585,0 ^{c,d} ±5,7	131,5 ^{a,b,c} ±3,5	112,5 ^b ±10,6	121,5 ^{b,c} ±0,7	484,0 ^{c,d} ±21,2	559,5 ^{c,d} ±31,8	602,5 ^{c,d} ±3,5	3,50 ^e ±0,00	4,75 ^{c,d} ±0,78	4,85 ^{c,d} ±0,07
Z udziałem proszku	2,5%	54,6	79,0 ^a ±0,0	90,0 ^{a,b,c} ±2,8	102,0 ^c ±7,1	351,5 ^a ±2,1	430,5 ^a ±16,3	502,0 ^{a,b} ^c ±14,1	138,0 ^{b,c} ±1,4	134,5 ^c ±3,5	135,0 ^{c,d,e} ±2,8	394,5 ^{a,b} ±2,1	479,0 ^{a,b} ±1,4	555,5 ^{b,c} ±17,7	2,50 ^{b,c} ±0,00	3,20 ^{a,b} ±0,14	3,70 ^{a,b} ±0,00
	5%	54,6	90,5 ^a ±2,1	97,5 ^{b,c,d} ±2,1	96,5 ^{b,c} ±2,1	451,0 ^{d,e} ±2,8	552,0 ^{d,e} ±11,3	621,5 ^{d,e} ±3,5	131,0 ^{a,b,c} ±1,4	119,5 ^{b,c} ±3,5	111,5 ^{a,b} ±0,7	483,0 ^{c,d} ±7,1	611,5 ^e ±0,7	650,5 ^{d,e} ±6,4	3,45 ^e ±0,07	4,60 ^{c,d} ±0,28	5,55 ^{d,e} ±0,07
	7,5%	54,6	82,0 ^a ±2,8	102,0 ^{c,d} ±8,3	95,0 ^{a,b,c} ±9,9	448,5 ^{d,e} ±21,9	638,0 ^f ±2,8	656,5 ^{d,e} ±45,9	123,5 ^{a,b} ±2,1	123,0 ^{b,c} ±25,5	116,5 ^b ±7,8	463,0 ^{c,d} ±15,6	664,0 ^f ±4,2	680,5 ^{d,e,f} ±43,1	3,65 ^e ±0,21	5,25 ^d ±1,06	5,60 ^{d,e} ±0,00
	10%	59,8	81,0 ^a ±2,8	81,5 ^a ±2,1	85,0 ^{a,b} ±4,2	495,0 ^f ±4,2	647,5 ^f ±3,5	702,5 ^e ±54,4	117,5 ^a ±2,1	91,5 ^a ±2,1	99,0 ^a ±7,1	497,0 ^d ±7,1	650,0 ^f ±4,2	704,5 ^{e,f} ±53,0	4,20 ^f ±0,00	7,05 ^e ±0,07	7,15 ^f ±1,06
Dwuczynnikowa ANOVA-p																	
czynnik 1			<0,001	<0,001	<0,001	0,015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 2			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 1 x czynnik 2			0,003	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,006	0,004	0,034	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,029

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy p≤0,05;
czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy p≤0,05;
czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy p≤0,05;
czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy p≤0,05.

Analizowane warianty mieszanki pszenno-żytniej (4:1) z udziałem dodatków buraczanych w większości wykazały wartości wodochłonności ekstensograficznej od 0,5 do nawet 10% mniejsze niż wartość uzyskana dla próby kontrolnej. Jedynie dla mieszanek udziałem soku ten parametr był o 4-7% wyższy od wyniku mieszanki kontrolnej.

Próba kontrolna ciasta z mieszanki pszenno-żytniej wykazała najlepsze cechy do wypieku po czasie fermentacji około 45-50 minut. Wówczas parametr rozciągliwości glutenu ciasta osiągnął największą wartość (139,5 mm) spośród wszystkich trzech pomiarów po 45, 90 i 135 minutach fermentacji. Zanotowane wartości oporu na rozciąganie i oporu na zrywanie były najmniejsze (336,5 EU i 369,0 EU). Analiza uzyskanych wyników badań z użyciem ekstensografu (tabela 21) oraz układu krzywych na ekstensogramach (załącznik 5), pozwoliła na stwierdzenie, iż wskazane jest wydłużenie czasu fermentacji podstawowej dla ciast z wyłokami buraczanych w stosunku do czasu fermentacji ciasta bez dodatków. Optymalnym czasem fermentacji dla prób z tym dodatkiem był ten w granicach od 45 a 90 minut. Ponadto, odnotowano, że kształt ekstensogramów prób badanych z wyłokami był typowy dla ciasta o optymalnych właściwościach technologicznych do wypieku (Brabender 2009). Rozciągliwość glutenu ciasta wariantów z wyłokami w wyznaczonym przedziale czasowym pokrywała się z wartością odczytaną dla ciasta kontrolnego, wartości oporu na rozciąganie i oporu na zrywanie były bliskie 500 EU, a współczynnik oporu był zgodny z normami jakości (Jakubczyk i Haber 1983, Brabender 2009) i w granicach od 3-5. Wyniki analizy ekstensograficznej ciast pszenno-żytnich z wyłokami buraczanymi były zbliżone do uzyskanych przez Belcar i in. (2021), Filipcev i in. (2014), czy Sobczyk i in. (2017a) w badaniach, które dotyczyły ciasta z mąki z ziarna pszenicy płaskurka, samopsza, orkisz i ich porównaniu z ciastem z mąki pszennej z ziarna pszenicy zwyczajnej.

Wyniki analizy ekstensograficznej ciast z sokiem z korzenia buraka ćwikłowego wskazały na konieczności wprowadzenia modyfikacji dla czasu trwania fermentacji podstawowej w zależności od udziału procentowego tego dodatku w cieście pszenno-żytnim (tabela 21). W przypadku ciast wytworzonych z mieszanek z 25 lub 50% udziałem soku w ilości wody dodawanej do ciasta (jak w próbie kontrolnej) czas fermentacji nie powinien być dłuższy niż 90 minut, natomiast dla prób z 75 i 100% zastąpieniem wody sokiem w cieście fermentacja podstawowa powinna trwać maksymalnie 45-50 minut. Omówione modyfikacje czasu fermentacji były podyktowane głównie zmniejszeniem rozciągliwości glutenu ciasta oraz wartościami oporu na rozciąganie i oporu na zrywanie znacznie przekraczającymi 500 EU w badaniach ciast z sokiem po 90 i 135 minutach fermentacji. Podobny układ wartości jak w badaniach ciast z sokiem, odnotowano również dla wariantów z udziałem proszku buraczanego, w przypadku których czas fermentacji nie powinien być dłuższy niż 45-50 minut. Podobne, przesłanki konieczności

wprowadzenia zmian w sposobie prowadzenia ciasta zanotowali także Sudha i in. (2007) dla ciasta pszennego z wyłokami jabłkowymi. Autorzy dla maksymalnego badanego udziału proszku z wyłoków jabłkowych (15%) w cieście zanotowali 2-krotne zwiększenie wartości oporu na rozciąganie oraz 2,5-krotne zmniejszenie rozciągliwości glutenu ciasta w porównaniu z próbą bez dodatków (opór na rozciąganie wynosił 336 EU, a rozciągliwość glutenu ciasta – 127 mm).

Dwuczynnikowa analiza statystyczna wykazała istotny wpływ zarówno rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i jego udziału procentowego w cieście na uzyskane średnie wyniki analizy ekstensograficznej. Jak odczytano z mapy ciepła (wykres 56, załącznik 17), w jednej grupie skupień ciasta bez dodatków znalazły się jedynie próby badane z udziałem soku (do 50% ilości wody) oraz wyłoków (do 7,5% masy mieszanki).

Tworzenie struktury ciasta żytniego warunkuje główny składnik mąki – skrobia, pęczniejąca po dodaniu do mąki wody, kleikująca w czasie ogrzewania i zatrzymująca wytwarzany przez drożdże dwutlenek węgla (Gąsiorowski i in. 1994).

Wyniki analizy charakterystyki skrobi badanej mieszanki pszenno-żytniej (4:1) w czasie ogrzewania przedawniono w tabeli 22, a przykładowe wykresy umieszczono w załączniku 8.

Tabela 22. Wyniki analizy amylograficznej zawiesin z mieszanki pszenno-żytniej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badana zawiesina		Cechy amylograficzne		
		Temperatura początkowa kleikowania [°C]	Temperatura końcowa kleikowania [°C]	Lepkość maksymalna [BU]
Próba kontrolna (bez dodatków)		58,1 ^c ±0,1	77,7 ^a ±0,2	355,0 ^a ±26,5
Z udziałem soku	25%	60,4 ^e ±0,3	81,8 ^c ±0,9	647,7 ^f ±6,7
	50%	62,1 ^f ±0,5	88,0 ^f ±2,6	1126,3 ^g ±22,2
	75%	62,9 ^f ±0,1	88,6 ^f ±0,1	1808,0 ^h ±38,7
	100%	48,2 ^b ±2,4	90,2 ^g ±0,4	1925,3 ⁱ ±55,3
Z udziałem wyłoków	2,5%	58,6 ^{c,d} ±0,1	83,6 ^d ±0,3	556,3 ^e ±10,0
	5%	58,6 ^{c,d} ±0,1	84,3 ^{d,e} ±0,3	525,7 ^{d,e} ±44,6
	7,5%	59,0 ^{c,d} ±0,1	85,1 ^e ±0,1	505,3 ^{c,d} ±11,0
	10%	59,3 ^{c,d,e} ±0,1	85,2 ^e ±0,3	459,7 ^{b,c} ±34,5
Z udziałem proszku	2,5%	58,3 ^c ±0,4	77,6 ^a ±0,1	422,7 ^b ±23,7
	5%	39,9 ^a ±0,1	79,5 ^b ±0,3	420,3 ^b ±5,5
	7,5%	59,5 ^{d,e} ±0,2	79,8 ^b ±0,2	434,3 ^b ±10,2
	10%	59,6 ^{d,e} ±0,1	81,3 ^c ±0,7	437,7 ^b ±4,2
Dwuczynnikowa ANOVA-p				
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Średnie wartości parametrów analizy amylograficznej (tabela 22) różniły się istotnie statystycznie, co potwierdziła także mapa ciepła (wykres 58, załącznik 17). Zawiesiny mieszanki pszenno-żytniej (wykres 32, załącznik 8) wykazała lepkość maksymalną na poziomie 355,0 BU, co wskazało na wysoką aktywność enzymów własnych mąki (α -amylazy) i prowadziło do rozkładu całej ilości skrobi w badanej mieszance, a tym samym także niskiej lepkości maksymalnej badanego układu. Według danych literaturowych (Jakubczyk i Haber 1983) chleb z takiej mąki prawdopodobnie miałby zbyt wilgotny i zbity miękisz oraz odstającą skórę. Podobne wartości lepkości maksymalnej uzyskali także Stępniewska i in. (2019) w badaniach mąk żytnich pełnoziarnistych (250 do 480 BU).

Warianty z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego (tabela 22) osiągnęły nie tylko większe wartości temperatury początkowej i końcowej kleikowania (średnio o 3-10°C), ale także wykazały wyższą lepkość maksymalną (nawet o 1400 BU) w porównaniu z zawiesiną badanej mieszanki wypiekowej bez dodatku. Wskazuje to na znaczący udział w tworzeniu kleiku składników chemicznych soku buraczanego (np. pektyny, błonnik pokarmowy) zwiększających lepkość zawiesiny w podwyższonej temperaturze. Amylogramy (wykres 33, załącznik 8) dla tych prób badanych miały kształt wysokich, stromych linii, co wskazuje to, iż pieczywo uzyskane z badanej mieszanki byłoby o małej objętości i gorszej porowatości m.in. ze względu na zbyt małą ilość dostarczonego substratu dla drożdży i zbyt małą powierzchnię pęczniejących ziaren skrobi potrzebnej do zmagazynowania wytworzonego w trakcie fermentacji ciasta gazu.

Badane próby z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego (tabela 22, wykres 34, załącznik 8) były istotnie zróżnicowane pod względem cechy amylograficznych, ale było one najkorzystniejsze pod względem technologicznym. Średnie wyniki badań tych wariantów były ponadto najbardziej zbliżone do modelu zawiesiny mieszanki pszenno-żytniej bez dodatków, co przedstawiono na mapie ciepła (wykres 58, załącznik 17). We wszystkich wariantach udziału procentowego wytlóków buraczanych w miejsce części masy mieszanki wypiekowej, uzyskane wyniki lepkości maksymalnej były zbliżone do 500 BU. Prawdopodobnie było to rezultatem zahamowania aktywności α -amylaz mieszanki mąk przez zastosowany dodatek warzywny do poziomu gwarantującego pożądaną objętość i porowatość pieczywa z jego udziałem.

Z kolei badane warianty z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego (tabela 22, wykres 35, załącznik 8) wykazały lepkość maksymalną na poziomie 420-440 BU. Może to wskazywać na to, iż z tej mieszanki uzyskano by zbyt zбите i wilgotne ciasto, a z niego pieczywo z zakalcem.

Dla pełnego obrazu sposobu prowadzenia ciasta z badanej mieszanki pszenno-żytniej (4:1) z udziałem wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego wykonano także analizę

fermentograficzną. Średnie wyniki badań przedstawiono w tabeli 23, a przykładowe wykresy – w załączniku 11.

Tabela 23. Wyniki analizy fermentograficznej ciast z mieszanki pszenno-żytniej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Optimalny czas fermentacji ciasta [min]	Całkowita objętość CO ₂ wydzielona w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]	Objętość CO ₂ wydzielona poza ciasto w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]	Objętość CO ₂ zatrzymana w cieście w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]
Próba kontrolna (bez dodatków)		50,0 ^{a,b} ±2,8	175,0 ^{a,b,c,d,e} ±28,3	17,5 ^{a,b} ±4,9	157,5 ^{a,b,c,d} ±33,2
Z udziałem soku	25%	54,0 ^{a,b} ±14,1	215,0 ^{e,f} ±21,2	17,5 ^{a,b} ±10,6	197,5 ^d ±10,6
	50%	42,0 ^a ±0,0	179,5 ^{b,c,d,e} ±4,9	0,0 ^a ±0,0	179,5 ^{b,c,d} ±4,9
	75%	58,0 ^{a,b} ±5,7	165,0 ^{a,b,c,d} ±21,2	10,0 ^{a,b} ±1,4	155,0 ^{a,b,c,d} ±19,8
	100%	62,0 ^b ±11,3	152,5 ^{a,b,c} ±24,7	12,5 ^{a,b} ±0,7	140,0 ^{a,b} ±25,5
Z udziałem wyciągów	2,5%	51,0 ^{a,b} ±4,2	205,0 ^{d,e,f} ±7,1	22,5 ^{a,b} ±3,5	182,5 ^{b,c,d} ±3,5
	5%	53,0 ^{a,b} ±4,2	204,5 ^{d,e,f} ±6,4	10,0 ^{a,b} ±14,1	194,5 ^{c,d} ±20,5
	7,5%	50,0 ^{a,b} ±14,1	196,5 ^{c,d,e,f} ±12,0	0,0 ^a ±0,0	196,5 ^d ±12,0
	10%	53,0 ^{a,b} ±1,4	227,5 ^f ±24,7	27,5 ^b ±23,3	200,0 ^d ±1,4
Z udziałem proszku	2,5%	47,0 ^{a,b} ±1,4	169,5 ^{a,b,c,d} ±0,7	12,0 ^{a,b} ±16,9	157,5 ^{a,b,c,d} ±16,3
	5%	47,0 ^{a,b} ±4,2	165,0 ^{a,b,c,d} ±7,1	15,5 ^{a,b} ±13,4	149,5 ^{a,b,c} ±6,4
	7,5%	42,0 ^a ±2,8	150,0 ^{a,b} ±0,0	10,0 ^{a,b} ±1,41	140,0 ^{a,b} ±1,4
	10%	43,0 ^a ±9,9	132,5 ^a ±10,6	13,0 ^{a,b} ±15,56	119,5 ^a ±4,9
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy p≤0,05; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy p≤0,05; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy p≤0,05; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy p≤0,05.

W przypadku wszystkich parametrów fermentograficznych zanotowano istotne statystycznie różnice (tabela 23) pomiędzy badanymi wariantami. Stwierdzono, że najkorzystniejszym pod względem technologicznym rodzajem dodatku do mieszanki pszenno-żytniej były wyciągi z korzenia buraka ćwikłowego (wykres 46, załącznik 11). W odniesieniu do pozostałych rodzajów dodatku na bazie buraka ćwikłowego (wykresy 45 i 47, załącznik 11) konieczne byłoby wprowadzenie modyfikacji w procedurze prowadzenia ciasta i wypieku chleba pszenno-żytniego metodą bezpośrednią, co znacznie utrudniałoby produkcję przemysłową.

Optimalny czas fermentacji ciasta kontrolnego z badanej mieszanki pszenno-żytniej wyniósł 50,0 minut, a podobny czas uzyskały także próby z udziałem wyciągów (50,0-53,0 minut). Dla prób z sokiem, w szczególności wariantu ze 100% zastąpieniem wody tym dodatkiem, czas fermentacji należało wydłużyć o ok. 10 minut, a dla ciast z udziałem proszku buraczanego –

skrócić, średnio o 3-8 minut w porównaniu z czasem optymalnej fermentacji ciasta kontrolnego. Istotne różnice w czasie fermentacji końcowej pomiędzy próbami badanymi, a próbą kontrolną potwierdziła także mapa ciepła (wykres 57, załącznik 17).

Badania fermentograficzne wariantów ciast pozwoliły ponadto na ocenę wpływu dodatków soku, wyłoków i proszku buraczanego na ilość dwutlenku węgla wytworzonego przez drożdże w trakcie fermentacji ciasta. Zmierzono objętość całkowitą powstałego gazu, objętość wydzieloną poza ciasto oraz objętość CO₂ zatrzymaną w cieście, pozwalającą oszacować późniejszą objętość chleba. W badaniach próby kontrolnej (tabela 23, wykres 44, załącznik 11) w optymalnym czasie fermentacji uzyskano całkowitą objętość gazów równą 157,5 cm³, zaś większe (nawet o 50 cm³) wyniki zanotowano w analizie ciast z udziałem wyłoków (182,5-200,0 cm³) oraz 25 i 50% udziałem soku (197,5 i 179,5 cm³). Świadczy to o korzystnym wpływie tych rodzajów dodatków buraczanych i podanym ich udziale w cieście na aktywność drożdży w trakcie fermentacji ciasta z badanej mieszanki pszenno-żytniej. Stąd wniosek, że chleby z tymi dodatkami miałyby dużą objętość i regularną porowatość miękiszu. W przypadku mieszanek pszenno-żytnich z udziałem proszku buraczanego zaobserwowano stopniowe zmniejszanie się całkowitej objętości CO₂ i jego objętości zatrzymanej w cieście w miarę zwiększania udziału procentowego tego dodatku w masie badanej mieszanki pszenno-żytniej.

Podobny optymalny czas fermentacji zanotowany w badaniach dla próby kontrolnej i prób badanych z sokiem i wyłokami z korzenia buraka ćwikłowego (tabela 23) uzyskali Belcar i in. (2021) w badaniach ciast z mąki z ziarna płaskurki, samopszy i orkisz i były to wartości od 36 minut – dla ciasta z mąki z ziarna płaskurki, do 72 minut – dla ciasta z mąki z ziarna samopszy. Sobczyk i in. (2017b) zanotowali natomiast czas od 46 do 84 minut dla fermentacji ciast z mąki z ziarna starych i nowych odmian ziarna orkisz. W przypadku wszystkich cytowanych autorów próby badane wykazały podobną ilość gazów zatrzymanych w cieście, co uzyskane w badaniach własnych (tabela 23).

Podsumowując, analiza ciast powstałych z mieszanki pszenno-żytniej wykazała, że najkorzystniejszym okazał dodatek wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego. Ciasta z tym rodzajem dodatku posiadały najlepsze cechy ciasta do wypieku. Wymieniony dodatek poprawił właściwości wypiekowe badanej mieszanki pszenno-żytniej, przy prowadzeniu fermentacji ciasta metodą bezpośrednią. Pozostałe badane dodatki warzywne tj. sok i proszek z korzenia buraka ćwikłowego spowodowały zmiany struktury glutenu powstałego w cieście, co wymagało wydłużenia czasu fermentacji dla osiągnięcia optymalnej objętości i porowatości miękiszu chleba, co dla produkcji przemysłowej byłoby znacznym utrudnieniem.

4.1.3.1.3. Ciasta pszenno-owsiane

Jednym z wybranych rodzajów pieczywa były chleby na bazie mieszanki mąki pszennej i owsianej (w proporcji 4:1). Połączenie mąki pszennej (typ 650) i mąki owsianej zastosowano dla podniesienia wartości odżywczej uzyskanej mieszanki wypiekowej. Przed wypiekiem pieczywa wykonano badania obrazujące zachowanie się głównych składników mąki tj. białek glutenowych i skrobi oraz wpływu na nie wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego, w tym badania reologiczne ciasta. Wyniki analizy farinograficznej ciast pszenno-owsianych przedstawiono w tabeli 24, zaś przykładowe farinogramy umieszczono w załączniku 3.

Tabela 24. Wyniki analizy farinograficznej ciast z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wodochłonność mąki [%]	Wodochłonność mąki [%] (korekta do wilgotności mąki 14%)	Cechy farinograficzne ciasta			Liczba jakości
				czas rozwoju [min]	czas stałości [min]	rozmięczenie [FU]	
Próba kontrolna (bez dodatków)		58,8 ^e ±1,5	56,6 ^{e,f} ±1,5	12,6 ^d ±5,7	16,2 ^e ±0,6	3 ^a ±1	200 ^g ±0
Z udziałem soku	25%	60,8 ^{f,g} ±0,8	58,7 ^{g,h} ±0,8	7,2 ^{a,b,c} ±3,1	6,8 ^{b,c} ±0,6	31 ^b ±2	99 ^{c,d} ±11
	50%	60,9 ^{f,g} ±0,3	58,7 ^{g,h} ±0,3	5,4 ^{a,b} ±0,2	7,1 ^c ±0,4	65 ^c ±5	100 ^{c,d} ±1
	75%	62,1 ^g ±0,6	59,9 ^h ±0,6	5,1 ^a ±0,1	4,6 ^{a,b} ±0,4	94 ^d ±5	73 ^a ±2
	100%	60,3 ^f ±0,1	58,1 ^g ±0,1	6,1 ^{a,b,c} ±0,2	4,1 ^a ±0,3	89 ^d ±4	83 ^{a,b,c} ±1
Z udziałem wyłoków	2,5%	57,7 ^{d,e} ±0,1	55,5 ^{d,e,f} ±0,1	10,0 ^{a,b,c,d} ±0,6	17,7 ^{e,f} ±1,6	0 ^a ±0	200 ^g ±0
	5%	57,7 ^{c,d,e} ±0,2	55,5 ^{d,e,f} ±0,2	10,6 ^{b,c,d} ±1,1	12,0 ^d ±1,0	0 ^a ±0	134 ^e ±4
	7,5%	56,3 ^{a,b,c} ±0,6	54,1 ^{a,b,c} ±0,6	11,3 ^{c,d} ±1,9	16,8 ^{e,f} ±4,2	0 ^a ±0	176 ^f ±41
	10%	55,3 ^a ±0,2	53,1 ^a ±0,2	9,8 ^{a,b,c,d} ±2,1	18,9 ^f ±0,3	0 ^a ±0	200 ^g ±0
Z udziałem proszku	2,5%	57,6 ^{c,d,e} ±0,1	55,4 ^{d,e,f} ±0,1	7,0 ^{a,b,c} ±0,6	6,4 ^{b,c} ±0,1	0 ^a ±0	111 ^d ±1
	5%	57,4 ^{c,d} ±0,2	55,2 ^{c,d,f} ±0,2	6,3 ^{a,b,c} ±0,4	3,6 ^a ±0,2	0 ^a ±0	78 ^{a,b} ±2
	7,5%	56,8 ^{b,c,d} ±0,2	54,6 ^{b,c,d} ±0,2	6,4 ^{a,b,c} ±0,3	5,0 ^{a,b,c} ±0,3	0 ^a ±0	94 ^{b,c,d} ±2
	10%	56,0 ^{a,b} ±0,1	53,8 ^{a,b} ±0,1	5,8 ^{a,b} ±0,6	5,7 ^{a,b,c} ±0,6	0 ^a ±0	96 ^{b,c,d} ±6
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..h – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Wodochłonność badanej mieszanki pszenno-owsianej różniła się istotnie spośród wszystkich analizowanych wariantów z dodatkami (tabela 24). Wodochłonność mieszanki pszenno-owsianej bez dodatku wyniosła 58,8%. Koletta i in. (2014) w badaniach mąki pszennej uzupełnionej dodatkiem płatków owsianych uzyskali znacznie większą (o 13%) wodochłonność w porównaniu do własnej mieszanki pszenno-owsianej (tabela 24). Czubaszek (2008) także wykazała wzrost wodochłonności mąki pszennej pod wpływem dodatku produktów pochodzących z ziarna owsa.

Uzyskana wodochłonność w badaniach cytowanej autorki była w granicach od 60,8% (dla 10% udziału mąki owsianej) do 75,7% (dla 50% udziału otrębów owsianych).

Zastosowany w badaniach rodzaj dodatku z korzenia buraka ćwikłowego miał istotne znaczenie dla wartości wyznaczonej wodochłonności badanej mieszanki wypiekowej (tabela 24). Próby z sokiem z korzenia buraka ćwikłowego wykazały wartości o 2-3% większe niż te uzyskane dla mieszanki bez dodatków. Z kolei udział wytlóków i proszku buraczanego w masie mieszanki spowodował zmniejszenie wodochłonności układu w odniesieniu do wyniku uzyskanego w badaniu próby kontrolnej. W przypadku udziału wytlóków – wodochłonność była w przedziale od 55,3 do 57,7%, a dla wariantów z udziałem proszku buraczanego – od 56,0 do 57,6%. Istotny był także udział procentowy każdego badanego rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego. Najmniejsze wartości wodochłonności mieszanki w badaniach każdego rodzaju dodatku zanotowano dla wariantu z maksymalnym jego udziałem w cieście, np. próba ze 100% udziałem soku wykazała wodochłonność na poziomie 60,3%, podczas, gdy próba z 75% udziałem tego rodzaju dodatku uzyskała wartość większą o 2%.

W dotychczasowych badaniach potwierdzono wzrost wodochłonności mąki pod wpływem udziału w mieszance produktów wysokobłonnikowych. Pasqualone i in. (2018) w badaniach udziału w mieszance mąki pszennej preparatu błonnika ze skórki migdałów na poziomie od 3-10% zanotowali o 2-4% większą wodochłonność niż dla próby kontrolnej (57,5%). Boubaker i in. (2016) uzyskali natomiast aż o 5% większą wodochłonność mieszanki mąki z 2% udziałem preparatu błonnika z kwiatostanu karczocha w porównaniu z wynikiem badań próby kontrolnej (60,5%).

Po ustaleniu wodochłonności mieszanki i mieszanek z dodatkami wykreślono krzywe normalne i wyznaczono parametry farinograficzne ciasta. Uzyskane wyniki różniły się istotnie statystycznie (tabela 24).

Początkowy etap tworzenia się ciasta określany parametrem czasu rozwoju dla próby kontrolnej osiągnął średnią wartość 12,6 minut, natomiast w większości prób badanych czas rozwoju ciasta był krótszy (tabela 24), co może wskazywać na istotny wpływ dodatków buraczanych na konsystencję ciasta wytworzonego z mieszanki pszenno-owsianej. Ciasta z sokiem lub proszkiem szybciej uzyskiwały zadaną konsystencję 500 FU, prawdopodobnie dzięki wprowadzeniu z badanym dodatkiem pektyn – w przypadku zastosowania soku lub błonnika pokarmowego – wraz z udziałem proszku, o właściwościach zagęszczających. Warianty ciasta z udziałem soku buraczanego uzyskały czas rozwoju ciasta w granicach od 5,1 do 7,2 minut i podobnie jak w przypadku prób z udziałem proszku, gdzie zanotowano średnie wartości od 5,2 do 7,0 minut. Wymienione zakresy czasu były o 5-7 minut krótsze od czasu rozwoju próby

kontrolnej. Jedynie ciasta z udziałem wyłoków nie różniły się czasem rozwoju od ciast wytworzonych z mieszanki bez dodatku (próby kontrolnej). Podobne wyniki zanotowali inni autorzy w wcześniejszych badaniach (Koletta i in. 2014, Miś i in. 2012). Koletta i in. (2014) w badaniach mieszanek wypiekowych mąki pszennej, mąki pełnoziarnistej żytniej, jęczmiennej i zmielonych płatków owsianych zanotowali dwukrotne wydłużenie czasu rozwoju ciasta dla prób z 60% udziałem płatków owsianych w porównaniu z ciastem kontrolnym (3,5 min). Badane przez autorów ciasta z 30% udziałem mąki jęczmiennej i 30% zmielonych płatków owsianych osiągnęły czas rozwoju nawet czterokrotnie dłuższy niż ciasto pszenne bez dodatków. Z kolei Miś i in. (2012) w badaniach mieszanek wypiekowych zawierających 1-5% karobu lub 5-25% mąki owsianej pełnoziarnistej w połączeniu z mąką pszenną uzyskali znaczące zmiany czasu rozwoju wariantów dla drugiego z wymienianych dodatków. Udział mąki owsianej spowodował wydłużenie czasu rozwoju ciasta z 1,8 minut (próba kontrolna) do 5-6,2 minut (próby badane).

Czas stałości ciasta [min] jest parametrem farinograficznym, który jest miarą zdolności glutenu ciasta do utrzymania pożądanej jego elastyczności i rozciągliwości (Jurga 2003). Dla ciasta kontrolnego wytworzonego z mieszanki pszenno-owsianej zanotowano średnią stałość ciasta równą 16,2 min. Stałość ciast z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego była znacznie krótsza, bo aż o 9-12 minut, w porównaniu z ciastem bez dodatków. Świadczy to o istotnym wpływie tego dodatku na szybszą utratę elastyczności przez siatkę glutenową powstałą w cieście. Podobną zależność zaobserwowano dla ciast z proszkiem buraczanym, a czas stałości ciasta także był krótszy (3,6-6,4 minut) od wyniku odnotowanego dla próby kontrolnej. Najmniejszy wpływ na stałość ciasta pszenno-owsianego miał udział wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego. Ciasta z tym dodatkiem wykazały stałości w zakresie od 12,0 do 18,9 minut. Prawdopodobnie było to efektem udziału w strukturze ciasta większej ilości błonnika pokarmowego pochodzącego z wyłoków, a jego właściwości przyczyniły się do utrzymania konsystencji ciasta. Jest to zgodne z aktualnym stanem wiedzy, bowiem udowodniono, iż udział dodatków wysokobłonnikowych wydłuża czas stałości ciasta. Miś i in. (2012) w badaniach mieszanek pszenno-owsianych dla dodatku 5% mąki owsianej pełnoziarnistej do mąki pszennej uzyskali czas stałości ciasta na poziomie 9 minut i był on 3 minuty dłuższy w porównaniu z ciastem pszennym. Cytowani autorzy zbadali także wpływ udziału karobu w mieszaneczce z mąką pszenną. Dla maksymalnego badanego udziału (5%) tego dodatku uzyskali ciasta o stałości wynoszącej 7 minut, która była o minutę dłuższa niż zanotowana dla kontrolnego ciasta pszennego. Nassar i in. (2008) po dodaniu do ciasta pszennego proszku z produktów pozostających po tłoczeniu soku z pomarańczy (skórka i wyłoki z miąższu) w udziale procentowym od 5-25% także zanotowali wydłużenie się czasu stałości ciasta w stosunku do ciasta pszennego bez dodatków.

Z chwilą utraty przez gluten ciasta pożądanej elastyczności (konsystencja wzorcowa – 500 FU) w analizie farinograficznej rozpoczyna się pomiar rozmiękczenia ciasta [FU] (Jakubczyk i Haber 1983). W przypadku ciasta z mieszanki pszenno-owsianej (4:1) bez dodatków było ono na poziomie około 3 FU. Z kolei ciasta z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego cechowało znacznie większe rozmiękczenie (31-94 FU), co potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia o istotnym wpływie tego rodzaju dodatku na białka glutenowe w tym układzie mieszanki wypiekowej. Ciasta z udziałem wyłoków i proszku nie różniły się rozmiękczeniem w porównaniu z próbą bez dodatków.

Podsumowaniem analizy farinograficznej ciast pszenno-owsianych było wyznaczenie wartości liczby jakości. Farinograficzna liczba jakości dla ciasta kontrolnego wyniosła 200, głównie dzięki długiej stałości ciasta przekraczającej czas rozwoju ciasta. Warianty z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego z powodu krótkich czasów stałości ciasta w porównaniu z czasami rozwoju oraz dużych wartości rozmiękczenia uzyskały liczbę jakości na poziomie od 73 do 100. Podobne wartości uzyskano w przypadku prób z udziałem proszku buraczanego, gdyż przyczyniły się do tego również krótkie czasy stałości i rozwoju ciasta. Liczba jakości tych ciast była w granicach od 78 do 111. Natomiast udział wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego pozwolił na wytworzenie ciast o liczbie jakości od 134 do 200, i były to wartości bliskie liczbie jakości ciasta kontrolnego. Można zauważyć, że to wyłoki buraczane był najlepszym dodatkiem do badanej mieszanki pszenno-owsianej, gdyż uzyskano ciasta o jakości porównywalnej z próbą kontrolną. Potwierdziła to także analiza z użyciem mapy ciepła (wykres 55, załącznik 17), gdyż ciasta z wyłokami i próba kontrolna znalazły się w tej samej grupie skupień.

Na podstawie analizy farinograficznej stwierdzono, że prawdopodobnym powodem zmian w wodochłonności mieszanki pszenno-owsianej i parametrów farinograficznych prób badanych z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego mogły być dwa czynniki. Pierwszym było zastąpienie 1/5 mąki pszennej na rzecz mąki owsianej w mieszance wypiekowej, co zmniejszyło ilość białek glutenowych w badanym układzie i osłabiło strukturę glutenu ciasta. Drugim, prawdopodobnie były reakcje zachodzące pomiędzy białkami glutenowymi mieszanki i pozostałymi składnikami mąki owsianej (zwiększenie zawartości błonnika pokarmowego, wprowadzenie β -glukanów), a składnikami soku, wyłoków i proszku z korzenia buraka ćwikłowego (m.in. polifenole, związki garbnikowe, błonnik pokarmowy). Odnotowano istotne zmiany czasu rozwoju, stałości i rozmiękczenia ciast w zależności od rodzaju dodatku buraczanego w porównaniu z wynikami analizy próby kontrolnej.

Kolejnym etapem badań reologicznych była analiza ekstensograficzna, której wyniki były przydatne do m.in. oszacowania czasu fermentacji ciasta oraz oceny odporności glutenu ciasta na

obróbkę mechaniczną. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 25 i na przykładowych wykresach umieszczonych w załączniku 6.

Tabela 25. Wyniki analizy ekstensograficznej ciast z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wodochłonność ekstensograficzna [%]	Energia podnoszenia się ciasta [cm ²]			Opór ciasta na rozciąganie [EU]			Rozciągliwość glutenu ciasta [mm]			Opór ciasta na zrywanie [EU]			Współczynnik oporu		
			45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min
Próba kontrolna (bez dodatków)		56,8	65,0 ^d ±0,0	67,0 ^b ±4,2	71,5 ^c ±0,7	321,5 ^c ±0,7	379,5 ^{b,c} ±23,3	410,5 ^{b,c} ±13,4	128,5 ^{c,d} ±0,7	117,0 ^e ±0,0	115,0 ^{e,f} ±4,2	338,5 ^c ±0,7	393,5 ^{b,c,d} ±27,6	431,5 ^b ±10,6	2,50 ^b ±0,00	3,25 ^b ±0,21	3,55 ^{a,b} ±0,21
Z udziałem soku	25%	59,4	79,0 ^e ±0,0	86,0 ^c ±1,4	86,5 ^d ±0,7	356,0 ^d ±25,5	409,5 ^{b,c,d,e} ±4,9	440,5 ^c ±20,5	135,0 ^{d,e} ±5,7	132,0 ^{g,h} ±2,8	125,5 ^f ±6,4	401,0 ^d ±18,4	454,5 ^{d,e} ±6,4	485,5 ^c ±13,4	2,65 ^b ±0,35	3,10 ^{a,b} ±0,00	3,50 ^{a,b} ±0,28
	50%	61,6	95,5 ^f ±2,1	98,0 ^d ±1,4	115,0 ^e ±2,8	403,0 ^e ±4,2	510,0 ^{f,g} ±46,7	558,5 ^e ±2,1	141,5 ^e ±2,1	121,5 ^{e,f} ±9,2	126,5 ^f ±3,5	464,0 ^f ±8,5	572,5 ^f ±38,9	644,5 ^e ±2,1	2,80 ^b ±0,00	4,20 ^{d,e} ±0,71	4,70 ^{b,c} ±0,14
	75%	61,6	103,5 ^g ±7,8	112,5 ^e ±7,8	119,5 ^e ±4,9	496,5 ^g ±7,8	650,5 ⁱ ±27,6	647,0 ^f ±21,2	126,5 ^{c,d} ±7,8	113,5 ^{d,e} ±3,5	122,5 ^f ±2,1	567,0 ^g ±5,7	718,5 ^g ±24,7	700,0 ^f ±16,9	3,90 ^c ±0,28	5,75 ^f ±0,07	5,30 ^c ±0,14
	100%	64,0	122,5 ^h ±4,9	123,5 ^f ±7,8	134,5 ^f ±7,8	424,0 ^{e,f} ±19,8	556,0 ^{g,h} ±33,9	674,5 ^f ±34,6	161,0 ^f ±11,3	134,5 ^h ±4,9	126,5 ^f ±0,7	548,5 ^g ±21,9	694,0 ^g ±21,2	797,0 ^g ±52,3	2,65 ^b ±0,35	4,15 ^{d,e} ±0,07	5,35 ^c ±0,35
Z udziałem wytlóków	2,5%	54,8	46,5 ^a ±2,1	57,0 ^{a,b} ±1,4	55,5 ^{a,b} ±0,7	234,5 ^a ±2,1	308,0 ^a ±0,0	349,5 ^a ±9,2	126,5 ^{c,d} ±2,1	126,0 ^{f,g} ±0,0	109,0 ^{d,e} ±2,8	242,0 ^a ±2,8	316,0 ^a ±1,4	353,5 ^a ±6,4	1,85 ^a ±0,07	2,40 ^a ±0,00	3,20 ^a ±0,14
	5%	51,8	47,5 ^a ±2,1	56,5 ^{a,b} ±2,1	59,5 ^{b,c} ±0,7	278,5 ^b ±2,1	347,0 ^{a,b} ±11,3	385,5 ^{a,b} ±9,2	115,5 ^{b,c} ±2,1	113,0 ^{d,e} ±5,7	107,0 ^{d,e} ±2,8	280,5 ^b ±2,1	353,5 ^{a,b} ±10,6	390,0 ^{a,b} ±11,3	2,40 ^b ±0,00	3,10 ^b ±0,28	3,60 ^{a,b} ±0,14
	7,5%	47,9	51,0 ^{a,b} ±1,4	57,0 ^{a,b} ±4,2	63,5 ^{b,c} ±2,1	282,5 ^b ±0,7	365,0 ^{a,b,c} ±24,0	425,0 ^{b,c} ±9,9	120,5 ^{b,c} ±7,8	107,0 ^{c,d} ±1,4	106,0 ^{c,d,e} ±1,4	292,5 ^b ±2,1	371,0 ^{a,b,c} ±25,5	429,0 ^b ±9,9	2,35 ^b ±0,21	3,40 ^{b,c} ±0,14	4,00 ^{a,b} ±0,14
	10%	44,8	59,5 ^{c,d} ±0,7	65,5 ^b ±2,1	70,5 ^c ±2,1	326,5 ^c ±2,1	429,5 ^{c,d,e} ±21,9	532,0 ^d ±5,7	118,5 ^{b,c} ±0,7	105,0 ^{c,d} ±0,0	96,5 ^{c,d} ±2,1	331,0 ^c ±5,7	436,5 ^{c,d,e} ±20,5	535,0 ^d ±7,1	2,80 ^b ±0,00	4,10 ^{c,d,e} ±0,28	5,55 ^c ±0,07
Z udziałem proszku	2,5%	56,8	62,5 ^{c,d} ±2,1	63,0 ^b ±1,4	65,5 ^{b,c} ±3,5	332,5 ^c ±2,1	400,0 ^{b,c,d} ±16,9	429,0 ^c ±22,5	122,5 ^{c,d} ±3,5	108,0 ^{c,d} ±5,7	105,0 ^{c,d,e} ±11,3	339,5 ^c ±0,7	405,0 ^{b,c,d} ±14,1	433,5 ^b ±20,5	2,75 ^b ±0,07	3,75 ^{b,c,d} ±0,35	4,15 ^{a,b} ±0,64
	5%	59,0	66,5 ^d ±6,4	65,5 ^b ±3,5	67,0 ^{b,c} ±0,0	413,0 ^e ±0,0	453,0 ^{d,e,f} ±16,9	502,5 ^d ±16,3	109,0 ^{a,b} ±9,9	99,5 ^c ±0,7	94,0 ^c ±4,2	414,0 ^d ±1,4	453,0 ^{d,e} ±16,9	502,5 ^{c,d} ±16,3	3,85 ^c ±0,35	4,55 ^e ±0,07	5,35 ^c ±0,35
	7,5%	59,0	62,5 ^{c,d} ±0,7	65,0 ^b ±4,2	63,0 ^{b,c} ±1,4	440,5 ^f ±12,0	579,0 ^h ±26,9	605,0 ^e ±14,1	97,5 ^a ±6,4	82,0 ^b ±2,8	75,0 ^b ±0,0	441,0 ^e ±12,7	580,5 ^f ±28,9	613,5 ^e ±19,1	4,50 ^d ±0,42	7,05 ^g ±0,07	8,05 ^d ±0,21
	10%	61,3	56,0 ^{b,c} ±1,4	50,5 ^a ±9,2	44,0 ^a ±19,8	402,0 ^e ±12,7	471,5 ^{e,f} ±71,4	572,0 ^e ±19,8	97,0 ^a ±1,4	73,0 ^a ±2,8	60,0 ^a ±12,7	412,5 ^d ±16,3	489,5 ^e ±78,5	616,0 ^e ±19,8	4,15 ^{c,d} ±0,07	6,45 ^g ±0,78	9,70 ^e ±1,70
Dwuczynnikowa ANOVA-p																	
czynnik 1			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 2			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 1 x czynnik 2			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

a..h – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy p≤0,05;
czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy p≤0,05;
czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy p≤0,05;
czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy p≤0,05.

Oznaczona wodochłonność ekstensograficzna [%] zmieniała się w zależności od rodzaju udziału dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego oraz jego procentowej zawartości w badanej mieszance. Wodochłonność ekstensograficzna próby kontrolnej wyniosła 56,8%, natomiast dla prób z udziałem soku buraczanego zaobserwowano zwiększenie wartości tego parametru od 2 do 7% w miarę zwiększania jego udziału procentowego w masie wody. Taką zależność odnotowano także w uzyskanych wynikach oznaczenia wodochłonności ekstensograficznej mieszanek z proszkiem (56,8-61,3%). W przypadku wariantów z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego w miarę zwiększania ich udziału procentowego w masie mieszanki następowało zmniejszenie wartości wodochłonności ekstensograficznej – średnio o 2 do nawet 12% w porównaniu z próbą kontrolną.

Ciasto kontrolne (tabela 25, wykres 24, załącznik 6) osiągnęło najlepsze cechy ciasta do wypieku po 45 minutach fermentacji. Wówczas zanotowano małe wartości oporów na rozciąganie i zrywanie (321,5 EU i 338,5 EU) oraz największą rozciągliwość glutenu ciasta (128,5 mm), a współczynnik oporu wyniósł 2,50. Dodatki z korzenia buraka ćwikłowego spowodowały istotne różnice wartości parametrów ekstensograficznych ciast z ich udziałem (tabela 25). Zastosowanie dodatku soku z korzenia buraka ćwikłowego (wykres 25, załącznik 6) spowodowało zmianę struktury siatki glutenowej ciasta pszenno-owsianego, na co wskazały głównie wysokie wartości oporów na rozciąganie i zrywanie (ponad 500 EU) oraz malejąca rozciągliwość glutenu ciasta [mm] w miarę zwiększania udziału procentowego soku w cieście. Dla ciasta pszenno-owsianego z omawianym dodatkiem dodatku najlepszym czasem fermentacji był czas zbliżony do 45 minut. Natomiast optymalną dawką soku buraczanego było 50% zastąpienie masy wody przewidzianej w recepturze próby kontrolnej, co stwierdzono na podstawie m.in. współczynnika oporu dla tej próby po 45 minutach, który wyniósł 2,80. W wcześniejszych badaniach Czubaszek i Karolini-Skaradzińskiej (2005) uzyskano podobne wyniki. Autorki w badaniach ciasta pszennego z udziałem mąki, otrębów lub płatków owsianych stwierdziły, że najlepszym dodatkiem owsianym była mąka, a poziomem udziału procentowego – 5 i 10%. Abou-Raya i in. (2014) oraz Darwish i in. (2018) w badaniach udziału mąki jęczmiennej i owsianej w mieszance z mąką pszenną zanotowali znaczne zmniejszenie wartości parametrów ekstensograficznych w miarę zastępowania mąki pszennej pozostałymi mąkami. Zdaniem cytowanych autorów było to jednoznaczne z negatywnym wpływem tych dodatków na wartość wypiekową mąki pszennej.

W przypadku zastosowania wytlóków buraczanych także zanotowano ich istotny wpływ na strukturę badanego ciasta pszenno-owsianego (tabela 25, wykres 26, załącznik 6). Najbardziej było to widoczne dla 10% ich udziału w mieszance. Próba wytworzona z tej mieszanki wykazała największe wartości dla wszystkich badanych parametrów ekstensograficznych. Czas fermentacji

ciasta z wytlókami powinien mieścić się pomiędzy 45 a 90 minut, dlatego, że współczynnik oporu tych wariantów był w zakresie od 3-5. Udział wytlóków buraczanych wykazał najlepsze działanie na składniki mieszanki pszenno-owsianej, co spowodowało uznanie wszystkich wybranych dawek udziału procentowego tego rodzaju dodatku w cieście pszenno-owsianym za dobre do uzyskania pieczywa o pożądanej strukturze. Na mapie ciepła próby z tym dodatkiem buraczanym były także w grupie skupień z próbą bez dodatków (wykres 56, załącznik 17). Podobne obserwacje możliwości wprowadzenia modyfikacji w sposobie prowadzenia ciasta zanotowali także Sudha i in. (2007) dla dodatku suszonych wytlóków jabłkowych do ciasta pszennego. Zastosowanie maksymalnego badanego udziału proszku z wytlóków jabłkowych (15%) skutkowało 2-krotnym zwiększeniem wartości oporu na rozciąganie z jednoczesnym 2,5-krotnym zmniejszeniem rozciągliwości glutenu ciasta w porównaniu z próbą kontrolną (opór na rozciąganie 336 EU, a rozciągliwość glutenu ciasta – 127 mm).

W badaniach ciast z proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego także zanotowano istotne różnice pomiędzy wartościami wyznaczanych parametrów ciasta (wykres 27, załącznik 6). Stwierdzono, że najlepszym czasem fermentacji był czas mieszczący się pomiędzy 45 a 90 minut. Jedynie w przypadku ciast z 7,5 i 10% udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego w mieszance mąki nie należało wydłużać czasu fermentacji ponad 45 minut, gdyż w kolejnych pomiarach po 90 i 135 minutach zanotowano duże wartości oporów na rozciąganie i zrywanie, przekraczające 500 EU. Optymalnym udziałem procentowym tego dodatku był ten na poziomie 2,5 i 5% masy badanej mieszanki pszenno-owsianej. Dla tych wariantów współczynnik oporu – ekstensograficzny współczynnik jakości mąki – mieścił się w zakresie od 3 do 5. Możliwości zastosowania produktów zawierających błonnik pokarmowy do tworzenia mieszanek z mąką pszenną badali inni autorzy (Miś i Dziki 2013, Wang i in. 2002, Mohammed i in. 2012). Podobnie, jak w badaniach własnych (tabela 25) stwierdzili oni zmniejszenie rozciągliwości glutenu ciasta w miarę wzrostu udziału preparatu błonnikowego w mieszance użytej do jego wytworzenia, a także większe wartości oporów na rozciąganie i zrywanie przy dłuższym czasie fermentacji ciasta.

Badania nad przydatnością do wypieku mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku, wytlóków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego objęły także analizy amylograficzne. Wyniki przedstawiono w tabeli 26, a przykładowe amylogramy zamieszczono w załączniku 9.

Tabela 26. Wyniki analizy amylograficznej zawiesin z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badana zawiesina		Cechy amylograficzne		
		Temperatura początkowa kleikowania [°C]	Temperatura końcowa kleikowania [°C]	Lepkość maksymalna [BU]
Próba kontrolna (bez dodatków)		59,7 ^{a,b} ±0,1	88,3 ^{b,c} ±0,1	1507,7 ^e ±22,8
Z udziałem soku	25%	60,9 ^{a,b} ±0,1	88,6 ^c ±0,2	1839,0 ^f ±18,7
	50%	58,2 ^a ±5,7	89,9 ^e ±0,2	2278,3 ^g ±23,0
	75%	62,3 ^b ±0,2	89,3 ^d ±0,6	2633,7 ^h ±40,5
	100%	62,6 ^b ±0,3	89,3 ^d ±0,6	3000,3 ⁱ ±63,7
Z udziałem wytlóków	2,5%	59,8 ^{a,b} ±0,2	89,4 ^{d,e} ±0,2	1546,3 ^e ±14,2
	5%	60,0 ^{a,b} ±0,1	89,4 ^{d,e} ±0,2	1513,3 ^e ±5,8
	7,5%	60,2 ^{a,b} ±0,1	89,8 ^{d,e} ±0,4	1449,3 ^d ±3,1
	10%	60,3 ^{a,b} ±0,2	89,7 ^{d,e} ±0,1	1414,7 ^d ±6,4
Z udziałem proszku	2,5%	60,6 ^{a,b} ±0,1	86,7 ^a ±0,1	1086,3 ^a ±7,2
	5%	60,9 ^{a,b} ±0,1	86,9 ^a ±0,2	1073,0 ^a ±8,5
	7,5%	61,1 ^b ±0,1	87,8 ^b ±0,5	1156,3 ^b ±12,9
	10%	61,3 ^b ±0,1	88,5 ^c ±0,1	1363,7 ^c ±30,1
Dwuczynnikowa ANOVA-p				
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001

a.i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Na podstawie analizy wyników (tabela 26) stwierdzono istotny wpływ nie tylko rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, ale także jego udziału procentowego w masie wody bądź mieszanki mąki w odniesieniu do składu ciasta kontrolnego. Próba kontrolna, czyli zawiesina mieszanki mąki pszennej i owsianej, uzyskała – oprócz wyższej temperatury początkowej i końcowej kleikowania niż dla mąki pszennej (Angioloni i Collar 2013) – także wyższą lepkość maksymalną, wynoszącą średnio 1507,7 BU (tabela 26). Można przypuszczać, że zwiększenie lepkości badanej zawiesiny mieszanki było spowodowane udziałem mąki owsianej w mieszance. Próby badane z udziałem dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego w stosunku do próby kontrolnej posiadały bardzo podobne średnie wartości temperatury początkowej kleikowania. Zawiesiny z mieszanek mąki z sokiem i wylókami wykazały wyższą temperaturę końcowa kleikowania, zaś w przypadku zawiesin mieszanki mąki z proszkiem było odwrotnie. Czubaszek (2008) zanotowała znacznie wyższe temperatury początkowe (78-82°C) i końcowe kleikowania (89-93°C) badanych mieszanek pszenno-owsianych (90:10).

Znaczące zróżnicowanie zaobserwowano natomiast dla wartości lepkości maksymalnej badanych zawiesin mieszanek z dodatkami. Szczególnie wyróżniały się warianty z udziałem soku

buraczanego, a było to widoczne także na wykresie 37 (załącznik 9) oraz na mapie ciepła (wykres 58, załącznik 17). W miarę zwiększania udziału soku aż do całkowitego zastąpienia nim potrzebnej do zrobienia zawiesiny mieszanki – wody, parametr wzrastał o 300-1500 BU w stosunku do lepkości maksymalnej zawiesiny próby kontrolnej. Układ krzywej kleikowania dla prób z sokiem buraczanym był stromy i wysoki, wykresy miały małą powierzchnię, co potwierdza, że dodatek ten zwiększał lepkość zawiesiny badanej mieszanki mąk. Na tej podstawie można przypuszczać, że chleby z tym dodatkiem miałyby gorszą porowatość miękiszu, małą objętość bochenka oraz popękaną skórę. Próby badane z udziałem wytlóków i proszku buraczanego wykazały wartości lepkości maksymalnej istotnie różniące się od wyniku badań próby kontrolnej, co mogło być rezultatem stopniowego zmniejszenia ilości badanej mieszanki pszenno-owsianej w zawiesinie na rzecz tych dodatków warzywnych. Dla wariantów z wytlókami były to wartości od 1414,7 do 1546,3 BU, a dla prób z proszkiem od 1086,3 do 1363,7 BU. Wykresy amaylograficzne zawiesin z wymienionymi dodatkami (wykresy 38, 39, załącznik 9) także były strome i wysokie, co podobnie jak dla wariantów z sokiem buraczanym, pozwoliło spodziewać się chleba, uzyskanego z badanych mieszanek, o małej porowatości miękiszu, małej jego objętości i popękanej skórce. Zaobserwowane duże wartości lepkości maksymalnej dla badanych prób (tabela 26) potwierdzają także inni autorzy (Jokinen i in. 2023, Gu i in. 2022). W badaniach własnych (tabela 26) najprawdopodobniej było to efektem zwiększenia udziału błonnika pokarmowego w zawiesinach, nie tylko wnoszonego przez mąkę owsianą, ale również pochodzącego z użytych dodatków.

Obraz zachodzących reakcji pomiędzy składnikami badanej mieszanki pszenno-owsianej, a tymi pochodzącymi z dodatków z korzenia buraka ćwikłowego uzupełniono przy użyciu fermentografu laserowego. W tabeli 27 przedstawiono wyniki badań, a przykładowe wykresy umieszczono w załączniku 12.

Tabela 27. Wyniki analizy fermentograficznej ciast z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Optimalny czas fermentacji ciasta [min]	Całkowita objętość CO ₂ wydzielona w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]	Objętość CO ₂ wydzielona poza ciasto w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]	Objętość CO ₂ zatrzymana w cieście w optymalnym punkcie fermentacji [cm ³]
Próba kontrolna (bez dodatków)		47,0 ^{b,c,d} ±1,4	137,5 ^a ±17,7	6,5 ^{a,b} ±2,1	131,0 ^{a,b} ±15,6
Z udziałem soku	25%	50,0 ^{b,c,d} ±8,5	192,0 ^{c,d} ±25,5	3,5 ^a ±4,9	188,5 ^{c,d,e,f} ±20,5
	50%	59,0 ^d ±4,2	193,0 ^{c,d} ±2,8	0,0 ^a ±0,0	193,0 ^{d,e,f} ±2,8
	75%	57,0 ^{c,d} ±15,5	189,0 ^{b,c,d} ±15,6	7,0 ^{a,b} ±9,9	182,0 ^{c,d,e} ±5,7
	100%	57,0 ^{c,d} ±7,2	161,5 ^{a,b,c} ±12,0	0,5 ^a ±0,7	161,0 ^{b,c,d} ±11,3
Z udziałem wytlóków	2,5%	61,0 ^d ±1,4	230,0 ^{d,e} ±28,3	33,0 ^b ±7,1	197,0 ^{e,f} ±21,2
	5%	32,0 ^a ±0,0	150,0 ^{a,b} ±0,0	24,0 ^{a,b} ±16,9	126,0 ^a ±16,9
	7,5%	60,0 ^d ±8,5	229,0 ^{d,e} ±36,8	17,5 ^{a,b} ±24,7	211,5 ^{e,f} ±12,0
	10%	52,0 ^{c,d} ±2,8	236,5 ^e ±4,9	19,5 ^{a,b} ±27,6	217,0 ^f ±22,6
Z udziałem proszku	2,5%	43,0 ^{a,b,c} ±1,4	198,5 ^{c,d,e} ±0,7	0,0 ^a ±0,0	198,5 ^{e,f} ±0,7
	5%	43,0 ^{a,b,c} ±7,2	170,0 ^{a,b,c} ±14,1	10,0 ^{a,b} ±7,1	160,0 ^{b,c} ±7,2
	7,5%	43,0 ^{a,b,c} ±1,4	160,0 ^{a,b,c} ±14,1	18,0 ^{a,b} ±2,8	142,0 ^{a,b} ±11,4
	10%	37,0 ^{a,b} ±1,4	140,0 ^a ±0,0	17,5 ^{a,b} ±6,4	122,5 ^a ±6,4
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Analiza statystyczna wyników badań potwierdziła, że zarówno rodzaj dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i jego udział procentowy w mieszance użytej do wytworzenia ciasta odgrywał istotną rolę w przebiegu fermentacji ciasta. Potwierdziła to także mapa ciepła na wykresie 57 (załącznik 17). Ciasto kontrolne osiągnęło optymalny rozrost kęsa ciasta po 47 minutach, przy objętości gazów zatrzymanych w cieście równej 131,0 cm³. Próby badane, w których dodatkiem był sok z korzenia buraka ćwikłowego uzyskały optymalną objętość kęsa ciasta po 50-59 minutach fermentacji. Czas ten był o około 3-10 minut dłuższy niż czas rozrostu ciasta kontrolnego. Ponadto, zaobserwowano różnicę w objętości tych ciast i ciasta kontrolnego. Wymieniony czas fermentacji prób z udziałem soku pozwolił na uzyskanie objętości ciasta od 161,0 do 193,0 cm³ i była ona o 30-60 cm³ większa, przy mniejszej ilości gazów wydzielonych poza ciasto, od objętości próby kontrolnej.

Korzystnie, pod względem parametrów fermentograficznych, oceniono zastosowanie dodatku wytlóków buraczanych do mieszanki pszenno-owsianej. Ciasto z ich udziałem poddane

fermentacji w czasie od 32,0 do 61,0 minut uzyskało objętość CO₂ zatrzymaną w cieście od 126,0 do 217,0 cm³, co było (oprócz wariantu z 5% udziałem wytlóków w masie mąki) maksymalnie 1,6 razy większą objętością w porównaniu z ciastem kontrolnym. W przypadkach wariantów z wytlókami buraczanymi zaobserwowano także największą objętość gazów wydzielonych poza ciasto (od 17,5 do 33,0 cm³) spośród wszystkich ciast z dodatkami buraczanymi.

W przypadku prób z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego fermentacja ciasta zachodziła szybciej niż dla ciasta bez dodatków. Optymalnego rozrost kęsa do wypieku wymagał czasu od 37,0 do 43,0 minut. Ciasta z udziałem od 2,5 do 7,5% tego dodatku (w mieszance pszenno-owsianej) osiągnęły większą objętość niż próba kontrolna (198,5-142,0 cm³). Wyjątkiem była próba z 10% udziałem proszku buraczanego, jej objętość kęsa do wypieku w optymalnym czasie (37,0 minut) wyniosła jedynie 122,5 cm³.

Podobnie, zmniejszenie objętości kęsa ciasta i wydłużenia jego fermentacji zaobserwowali Hruskova i Svec (2016) w badaniach wpływu dodatku nasion konopi do ciasta pszenno-jęczmiennego. Przy 5 i 10% udziale wymienionego dodatku zanotowali o 10 cm³ mniejszą niż próba kontrolna objętość ciasta w optymalnym czasie fermentacji wynoszącym 28-18 minut. Z kolei Wójcik i in. (2017) zastosowali udział od 5-25% preparatu wysokobłonnikowego (karob, mąka z ziarna czerwonej komosy i mąka z ziarna owsa czarnego w stosunku 1:2:2) w mieszance z mąką pszenną i zanotowali zmniejszenie objętości kęsa ciasta aż o 20% w porównaniu z kontrolnym ciastem pszennym (257,4 cm³).

Całościowa analiza technologiczna ciasta pszenno-owsianego z badanym udziałem wybranych dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego wykazała potrzebę specjalnego sposobu prowadzenia ciasta wzbogaconego. Ciasta z dodatkami zazwyczaj wymagały wydłużenia czasu fermentacji. W mniejszym stopniu gromadzony był wewnątrz siatki glutenowej wytworzony przez drożdże dwutlenek węgla, co prawdopodobnie skutkowałoby niską porowatością miękiszu i małą objętością bochenka. Potwierdziły to także badania dotyczące zachowania się skrobi, ponieważ dodatki te zwiększyły lepkość maksymalną zawiesiny mieszanki z czego wynika, że była ona bardziej oporna na rozkład przez enzymy do postaci potrzebnej drożdżom do przeprowadzenia fermentacji. Najmniejszy wpływ na sposób prowadzenia ciasta pszenno-owsianego zaobserwowano przy zastosowaniu dodatku wytlóków. W przypadku ciast pszenno-owsianych postępowanie powinno być podobne jak dla próby kontrolnej tzn. standardowa 1 godzinna fermentacja podstawowa z przebicciem po upływie połowy czasu i około 30 minutowy rozrost w kęsie.

4.1.3.2. Analiza właściwości prozdrowotnych badanych ciast wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Zastosowanie dodatku wzbogacającego w postaci produktów z korzenia buraka ćwikłowego miało za zadanie podniesienie wartości prozdrowotnej popularnych na rynku rodzajów chlebow pszennego i mieszanych. W tym celu dokonano nie tylko ogólnej charakterystyki wpływu użytego wzbogacenia na aktywność przeciwutleniającą międzyproduktów – ciast przed wypiekiem, ale także ocenę zawartości najliczniejszej grupy związków o udowodnionych cechach prozdrowotnych z korzenia buraka ćwikłowego, czyli barwników betalainowych. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelach od 28 do 33. Ilości związków prozdrowotnych i aktywność przeciwutleniającą wyrażono w przeliczeniu na kęs świeżego ciasta przeznaczony do wypieku (250 g). Pozwoliło to ocenę wpływu procesu fermentacji ciasta na zachowanie się i ostateczną ilość tych substancji w produkcie.

Tabela 28. Zawartość związków betalainowych w kęsie ciasta pszennego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wilgotność kęsa ciasta [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 250 g ś.m. ciasta]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/250 g ś.m. ciasta]	Betalainy ogółem [mg/250 g ś.m. ciasta]
Próba kontrolna (bez dodatków)		66,12	–	–	–
Z udziałem soku	25%	66,12	5,265 ^c ±0,006	5,023 ^c ±0,004	10,288 ^c ±0,011
	50%	66,12	8,365 ^e ±0,008	7,614 ^d ±0,006	15,979 ^e ±0,014
	75%	66,12	11,845 ^h ±0,000	9,550 ^g ±0,000	21,395 ^h ±0,000
	100%	66,12	15,092 ^j ±0,000	12,641 ⁱ ±0,000	27,733 ⁱ ±0,000
Z udziałem wytłoków	2,5%	66,12	2,413 ^a ±0,054	2,490 ^a ±0,053	4,903 ^a ±0,107
	5%	59,58	4,128 ^b ±0,114	4,437 ^b ±0,105	8,565 ^b ±0,219
	7,5%	57,35	7,036 ^d ±0,064	7,770 ^e ±0,057	14,806 ^d ±0,120
	10%	55,28	9,883 ^g ±0,030	11,050 ^h ±0,031	20,933 ^g ±0,060
Z udziałem proszku	2,5%	63,20	9,053 ^f ±0,079	8,719 ^f ±0,072	17,772 ^f ±0,151
	5%	63,20	14,352 ⁱ ±0,019	13,937 ^j ±0,013	28,289 ^j ±0,032
	7,5%	63,20	15,727 ^k ±0,032	13,872 ^j ±0,022	29,599 ^k ±0,054
	10%	63,20	17,154 ^l ±0,220	14,187 ^k ±0,154	31,342 ^l ±0,374
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

W badaniach ciast pszennych (tabela 28) zanotowano istotne różnice pomiędzy wszystkimi analizowanymi wariantami. Wpływ na uzyskane wartości miał rodzaj dodatku z korzenia buraka ćwikłowego oraz jego udział procentowy w cieście. W miarę zwiększania udziału procentowego

badanego dodatku następowało zwiększenie koncentracji barwników betalainowych w cieście. W przypadku barwników fioletowych [mg betacyjaniny/250 g ś.m.] dużą zawartość zanotowano dla ciast z udziałem soku (szczególnie dla prób z 75 i 100% udziałem) i proszku buraczanego (zwłaszcza próby z 5; 7,5 i 10% udziałem). Wyróżnione próby posiadały wartości przekraczające 10 mg barwnika wzorcowego w kęsie badanego ciasta pszennego. W przypadku prób z udziałem wyłoków buraczanych były one o 2-6 mg mniejsze od tych zanotowanych dla pozostałych dodatków wzbogacających. Taki układ wartości miało odzwierciedlenie na mapie ciepła (wykres 59, załącznik 17).

W skład ogólnej ilości betalain wchodzi także ich rodzaj nadający produktom żółty kolor (wulgaksantyny). Ich zawartość w badanych kęsach ciasta wyrażono w przeliczeniu na mg betaksantyny/250 g ś.m. ciasta. Zawartość tych barwników w cieście pszennym była istotnie zróżnicowana pod względem rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w recepturze. Zaobserwowano ich zwiększoną zawartość w próbach z wyłokami z korzenia buraka ćwikłowego w stosunku do zanotowanych ilości barwników fioletowych w tych ciastach. Była to maksymalnie o 0,5 mg większa ilość. Natomiast kęsem ciasta o największym stężeniu betaksantyn był ten z 100% udziałem soku buraczanego w masie wody dodanej do ciasta (16,885 mg/250 g ś.m.). Wysoką zawartość betalain stwierdzili także Bouazizi i in. (2020) dla użycia do wzbogacenia herbatników proszku z owoców opuncji figowej. Podobne wyniki do badań własnych (tabela 28) zanotowali także Hsu i in. (2019) dla ciasta chlebowego z proszkiem ze skórki owoców pitai.

Badania zawartości betalain przeprowadzono także dla ciasta pszenno-żytniego, co przedstawia tabela 29.

Tabela 29. Zawartość związków betalainowych w kęsie ciasta pszenno-żytniego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wilgotność kęsa ciasta [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 250 g ś.m. ciasta]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 250 g ś.m. ciasta]	Betalainy ogółem [mg/250 g ś.m. ciasta]
Próba kontrolna (bez dodatków)		66,72	–	–	–
Z udziałem soku	25%	66,72	6,626 ^d ±0,008	6,480 ^f ±0,006	13,106 ^f ±0,014
	50%	66,72	8,494 ^h ±0,008	7,656 ^h ±0,000	16,150 ⁱ ±0,008
	75%	66,72	13,417 ^j ±0,017	11,316 ^k ±0,023	24,733 ^k ±0,040
	100%	66,72	23,941 ^k ±0,016	16,885 ^l ±0,012	40,826 ^l ±0,024
Z udziałem wyciągów	2,5%	66,72	2,236 ^a ±0,014	2,390 ^a ±0,006	4,626 ^a ±0,019
	5%	59,41	2,610 ^b ±0,016	2,926 ^b ±0,015	5,536 ^b ±0,031
	7,5%	58,29	2,632 ^b ±0,016	3,165 ^d ±0,017	5,797 ^c ±0,034
	10%	56,48	7,439 ^f ±0,057	7,737 ⁱ ±0,045	15,176 ^h ±0,102
Z udziałem proszku	2,5%	64,65	3,080 ^c ±0,035	3,049 ^c ±0,026	6,129 ^d ±0,060
	5%	64,65	6,688 ^e ±0,035	6,011 ^e ±0,035	12,700 ^e ±0,071
	7,5%	64,65	7,816 ^g ±0,000	6,790 ^g ±0,000	14,606 ^g ±0,000
	10%	63,97	10,720 ⁱ ±0,000	8,742 ^j ±0,000	19,462 ^j ±0,000
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Na podstawie uzyskanych wyników zawartości barwników betalainowych w cieście pszenno-żytnim stwierdzono ich istotne zróżnicowanie. Podobnie jak w przypadku ciast pszennych największą zawartością tych związków prozdrowotnych odznaczały się ciasta z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego (13,106-40,826 mg/250 g ś.m.), na co wskazała także mapa ciepła (wykres 59, załącznik 17). Dla tego rodzaju dodatku oraz dla udziału proszku buraczanego stwierdzono większy udział barwników fioletowych w stosunku do żółtych. Było to od 0,5 do 8 mg więcej w kęsie badanego ciasta. Odmierna zależność wystąpiła w przypadku zastosowania wzbogacenia wyciągami z korzenia buraka ćwikłowego. Podobne wyniki do uzyskanych w badaniach własnych (tabela 29) zanotowali Hsu i in. (2019).

Przeprowadzone badania objęły także analizy zawartości barwników korzenia buraka ćwikłowego w ciastach pszenno-owsianych. Wyniki przedstawiono w tabeli 30.

Tabela 30. Zawartość związków betalainowych w kęsie ciasta pszenno-owsianego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wilgotność kęsa ciasta [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 250 g ś.m. ciasta]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 250 g ś.m. ciasta]	Betalainy ogółem [mg/250 g ś.m. ciasta]
Próba kontrolna (bez dodatków)		67,58	–	–	–
Z udziałem soku	25%	67,58	1,741 ^b ±0,004	2,140 ^c ±0,000	3,881 ^b ±0,004
	50%	67,58	4,492 ^f ±0,000	4,473 ^h ±0,000	8,965 ^g ±0,000
	75%	67,58	12,628 ⁱ ±0,000	9,249 ^k ±0,000	21,878 ^j ±0,000
	100%	67,58	16,898 ^j ±0,016	10,920 ^l ±0,000	27,818 ^k ±0,016
Z udziałem wytłoków	2,5%	63,88	1,297 ^a ±0,004	1,244 ^a ±0,005	2,541 ^a ±0,010
	5%	61,82	1,921 ^b ±0,464	1,932 ^b ±0,014	3,853 ^b ±0,451
	7,5%	59,67	2,466 ^c ±0,010	2,831 ^e ±0,007	5,296 ^d ±0,015
	10%	57,52	3,702 ^d ±0,018	4,141 ^g ±0,013	7,842 ^f ±0,031
Z udziałem proszku	2,5%	65,95	2,274 ^c ±0,007	2,295 ^d ±0,005	4,568 ^c ±0,012
	5%	65,95	3,931 ^e ±0,000	3,536 ^f ±0,006	7,467 ^e ±0,006
	7,5%	65,35	5,098 ^g ±0,008	4,494 ⁱ ±0,006	9,592 ^h ±0,013
	10%	64,49	8,322 ^h ±0,000	6,700 ^j ±0,000	15,021 ⁱ ±0,000
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Zawartość barwników betalainowych w cieście pszenno-owsianym była istotnie zróżnicowana pod wpływem rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w cieście (tabela 30, wykres 59, załącznik 17). Największą zawartość tych związków stwierdzono w ciastach z sokiem. Wartości dla tego dodatku były maksymalnie o 10 mg większe od uzyskanych dla pozostałych badanych dodatków buraczanych. Ciasta z udziałem soku oraz proszku z korzenia buraka ćwikłowego posiadały więcej betalain fioletowych, natomiast ciasta z wytłokami zawierały więcej betalain żółtych. Porównywalne wyniki zanotowali Shiau i in. (2020) dla ciasta makaronowego i dodatku proszku ze skórki pitai oraz Cui i in. (2022) dla ciasta chlebowego z udziałem proszku buraczanego.

Wzbogacenie produktami z korzenia buraka ćwikłowego wniosło do ciasta nie tylko specjalny rodzaj substancji polifenolowych w postaci barwników betalainowych, ale także inne związki o charakterze prozdrowotnym. Dlatego też, przeprowadzono badania ogólnej zawartości polifenoli oraz aktywności przeciwutleniającej.

Tabela 31 przedstawia uzyskane w badaniach wartości dla wspomnianych wyżej wskaźników prozdrowotnego działania korzenia buraka ćwikłowego dla ciasta pszennego.

Tabela 31. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca kęsa ciasta pszennego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wilgotność kęsa ciasta [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/ 250 g ś.m. ciasta]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/250 g ś.m. ciasta]	
				metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH [·]
Próba kontrolna (bez dodatków)		66,12	41,21 ^a ±1,72	276,46 ^a ±23,88	9,78 ^a ±2,58
Z udziałem soku	25%	66,12	133,64 ^b ±0,28	1083,71 ^b ±12,61	33,93 ^b ±3,12
	50%	66,12	152,66 ^c ±0,82	1516,85 ^d ±46,16	66,84 ^c ±5,41
	75%	66,12	163,92 ^{d,e} ±1,83	1953,18 ^e ±81,00	114,78 ^e ±5,16
	100%	66,12	171,20 ^e ±3,35	2248,69 ^f ±153,90	127,63 ^f ±8,83
Z udziałem wytłoków	2,5%	66,12	132,30 ^b ±8,35	1296,76 ^c ±36,11	32,96 ^b ±0,45
	5%	59,58	155,52 ^{c,d} ±10,52	1628,58 ^d ±44,66	34,89 ^b ±0,61
	7,5%	57,35	153,55 ^c ±5,95	1993,30 ^e ±74,68	144,00 ^g ±2,87
	10%	55,28	185,74 ^f ±12,85	2407,94 ^g ±56,77	160,87 ^h ±8,83
Z udziałem proszku	2,5%	63,20	185,05 ^f ±4,24	1370,26 ^c ±15,06	104,47 ^d ±3,68
	5%	63,20	197,60 ^g ±3,04	2148,59 ^f ±44,75	159,66 ^h ±5,86
	7,5%	63,20	193,86 ^{f,g} ±3,94	2436,59 ^g ±167,74	201,68 ⁱ ±5,92
	10%	63,20	198,71 ^g ±0,60	2561,55 ^h ±41,85	218,80 ^j ±5,40
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

W badaniach ciast pszennych zanotowane wyniki dla zawartości polifenoli ogółem były istotnie zróżnicowane (tabela 31). Wprowadzenie wzbogacenia w postaci soku, wytłoków czy proszku z korzenia buraka ćwikłowego znacznie podnosiło zawartość związków polifenolowych. Było to maksymalnie (próba z 10% udziałem proszku) 5-krotne zwiększenie ich ilości w kęsie ciasta do wypieku w stosunku do ciasta kontrolnego (41,21 mg GAE/250 g ś.m.).

Badania objęły także analizę aktywności przeciwutleniającej substancji zawartych w cieście pszennym oraz ciastach z udziałem produktów z korzenia buraka ćwikłowego. Wykryto istotny wpływ wprowadzenia badanego wzbogacenia dodatkami buraczanymi na siłę zmiatania rodników wzorcowych. W przypadku metody z ABTS⁺ było to zwiększenie 10 do 20-krotne, natomiast przy badaniach metodą z DPPH[·] zwiększenie wartości było 2 do maksymalnie 8-krotne. Podobnie istotny wpływ fermentacji ciasta na zawartość związków biologicznie aktywnych zaobserwowali także Meral i Kose (2019).

Omawiane wyżej badania objęły także ciasta pszenno-żytnie. Wyniki przedstawia tabela 32.

Tabela 32. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca kęsa ciasta pszenno-żytniego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wilgotność kęsa ciasta [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/ 250 g ś.m. ciasta]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/250 g ś.m. ciasta]	
				metoda z ABTS ⁺ ·	metoda z DPPH·
Próba kontrolna (bez dodatków)		66,72	49,14 ^a ±0,14	148,43 ^a ±3,30	19,74 ^a ±0,25
Z udziałem soku	25%	66,72	118,05 ^d ±0,54	1169,97 ^c ±78,80	51,45 ^b ±0,64
	50%	66,72	121,64 ^e ±0,54	2496,30 ^b ±110,50	116,23 ^b ±0,24
	75%	66,72	102,40 ^c ±0,55	2078,53 ^f ±138,58	108,88 ^f ±1,97
	100%	66,72	126,12 ^f ±0,93	1937,00 ^e ±85,23	125,47 ⁱ ±0,85
Z udziałem wytłoków	2,5%	66,72	81,81 ^b ±0,00	1698,64 ^d ±62,80	78,95 ^c ±0,24
	5%	59,41	152,01 ⁱ ±1,30	2057,09 ^f ±39,46	94,20 ^d ±1,07
	7,5%	58,29	141,62 ^g ±0,34	2124,29 ^f ±57,59	106,38 ^e ±0,31
	10%	56,48	148,74 ^h ±0,35	2497,41 ^h ±33,94	112,27 ^g ±0,32
Z udziałem proszku	2,5%	64,65	116,89 ^d ±0,28	999,20 ^b ±44,02	140,81 ^j ±0,44
	5%	64,65	116,95 ^d ±0,56	1615,57 ^d ±27,26	159,57 ^k ±0,68
	7,5%	64,65	141,00 ^g ±0,57	2310,10 ^g ±45,46	125,10 ⁱ ±1,34
	10%	63,97	163,50 ^j ±1,52	2453,08 ^h ±18,38	159,94 ^k ±1,46
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..k – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Analiza statystyczna wykazała istotne różnice pomiędzy wartościami prób badanych dla wybranych parametrów (tabela 32). Zaobserwowano duży wpływ rodzaju użytego wzbogacenia ciasta na bazie korzenia buraka ćwikłowego oraz jego udziału procentowego w badanym cieście. Spośród wszystkich badanych wariantów największą zawartość polifenoli ogółem osiągnęły: ciasto z 5% udziałem wytłoków (152,01 mg GAE/250 g ś.m.) i z 10% udziałem proszku buraczanego (163,50 mg GAE/250 g ś.m.). Dla tych prób wartości przekroczyły wartość 150 mg GAE w kęsie ciasta do wypieku.

W badaniach udowodniono także, że fermentacja ciasta pozwala zachować znaczną ilość substancji z korzenia buraka ćwikłowego posiadających aktywność przeciwutleniającą. Wykazano istotny wpływ rodzaju zastosowanego do ciasta dodatku z tego warzywa, jak i wielkości jego udziału w kęsie do wypieku. Wyniki uzyskane dla aktywności przeciwutleniającej były 10- do 20-krotnie większe dla pomiarów metodą z ABTS⁺· i od 2- do 8-krotnie większe dla pomiarów metodą z DPPH· w porównaniu z próbą kontrolną. Porównywalne wartości dla polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej dla ciasta chlebowego wzbogacanego proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego zanotowali Cui i in. (2022).

Ogólny wpływ badanego wzbogacenia na charakter prozdrowotny ciasta zbadano również dla ciasta pszenno-owsianego. Uzyskane wyniki przedstawia tabela 33.

Tabela 33. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca (ABTS, DPPH) kęsa ciasta pszenno-owsianego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane ciasto		Wilgotność kęsa ciasta [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/250g ś.m.]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/250 g ś.m. ciasta]	
				metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH [·]
Bez dodatków	0%	67,58	69,13 ^a ±3,72	559,70 ^a ±49,64	20,54 ^a ±0,64
Z udziałem soku	25%	67,58	100,66 ^c ±2,13	1737,86 ^e ±65,08	63,37 ^b ±1,31
	50%	67,58	95,53 ^b ±0,70	1889,51 ^f ±61,86	143,11 ^d ±0,24
	75%	67,58	204,63 ⁱ ±2,30	2186,98 ^g ±22,35	253,48 ^g ±3,47
	100%	67,58	224,50 ^j ±0,53	2392,27 ^h ±84,37	286,37 ^h ±2,56
Z udziałem wyciągów	2,5%	63,88	108,46 ^d ±1,46	1364,60 ^b ±7,14	70,75 ^{b,c} ±0,27
	5%	61,82	117,52 ^e ±1,96	1460,25 ^c ±34,49	78,15 ^c ±0,38
	7,5%	59,67	123,17 ^f ±0,44	1379,65 ^{b,c} ±56,35	82,05 ^c ±0,40
	10%	57,52	136,78 ^g ±1,03	1301,58 ^b ±24,87	148,99 ^d ±1,74
Z udziałem proszku	2,5%	65,95	117,86 ^e ±1,81	1598,11 ^d ±84,78	75,81 ^c ±0,44
	5%	65,95	120,41 ^{e,f} ±0,96	1637,18 ^d ±20,38	168,45 ^e ±1,10
	7,5%	65,35	159,28 ^h ±1,60	1658,04 ^{d,e} ±37,52	178,96 ^e ±25,74
	10%	64,49	233,14 ^k ±0,00	1955,68 ^f ±31,89	211,39 ^f ±1,37
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2			< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..k – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Zastosowane w badaniach wzbogacenie ciasta pszenno-owsianego sokiem, wyciągami lub proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego spowodowało istotne zwiększenie wartości prozdrowotnej kęsów do wypieku z ich udziałem. Wartości dla polifenoli ogółem były średnio o 40 mg GAE większe w porównaniu z kęsem (250 g ś.m.) ciasta kontrolnego. Podobną zależność stwierdzono dla aktywności przeciwutleniającej będącej większą dla kęsów ze wzbogaceniem produktami z korzenia buraka ćwikłowego w zależności od rodzaju dodatku i jego udziału procentowego w cieście. Było to więcej o 1000 – 1500 μmoli Troloxu w metodzie z ABTS⁺ i o 40 – 140 μmoli Troloxu w metodzie DPPH[·]. Takie wyniki świadczą o pozytywnym wpływie fermentacji ciasta na utrzymanie wysokiej zawartości związków biologicznie aktywnych z korzenia buraka ćwikłowego. Podobne zależności zanotowali także Hsu i in. (2019).

Wzbogacenie badanymi produktami z korzenia buraka ćwikłowego spowodowało istotny wzrost wartości potencjału antyoksydacyjnego kęsa ciasta do wypieku. Ilustruje to także mapa

ciepła na wykresie 60 (załącznik 17). Dotyczyło to wszystkich ciast z badanej mąki pszennej i dwóch mieszanek wypiekowych. Wyróżniono dwa aglomeraty prób o zbliżonej zawartości polifenoli ogółem oraz aktywności przeciwutleniającej. Były to grupa prób bliskim ciastom bez dodatków o niskim potencjale przeciwutleniającym (kolor czerwony) oraz grupa prób z wysokim badanym udziałem soku buraczanego (75, 100% udział w masie wody), proszku (5; 7,5; 10% udział w masie mąki) lub wyłoków (10% udział w masie mąki) o znaczących właściwościach prozdrowotnych (kolor niebieski).

4.2. Wyniki badań jakości oraz wartości odżywczej i prozdrowotnej chleba

Kolejnym etapem badań była kompleksowa analiza produktów pod względem ich jakości, wartości odżywczej i prozdrowotnej.

4.2.1. Chleby pszenne wzbogacone dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

W tabeli 34 przedstawiono parametry procesu wypiekowego chlebów z mąki pszennej z udziałem dodatków z korzenia z buraka ćwikłowego. Wygląd bochenków i miękiszu pieczywa przedstawiono na fotografiach 1-6 w załączniku 13.

Tabela 34. Parametry procesu wypiekowego badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Wydajność ciasta [%]	Upiek [%]	Wydajność pieczywa [%]
Próba kontrolna (bez dodatków)		141,43 ^e ±0,50	9,50 ^{f,g} ±0,05	119,60 ^c ±0,48
Z udziałem soku	25%	142,03 ^e ±0,50	6,79 ^a ±0,12	124,93 ^g ±0,05
	50%	141,90 ^e ±0,50	9,23 ^{e,f,g} ±0,05	123,16 ^f ±0,59
	75%	142,13 ^e ±0,50	8,22 ^{b,c} ±0,11	124,96 ^g ±0,04
	100%	142,33 ^e ±0,50	7,87 ^b ±0,23	125,77 ^g ±0,26
Z udziałem wytlóków	2,5%	141,43 ^e ±0,50	9,00 ^{d,e} ±0,70	119,41 ^c ±1,17
	5%	135,10 ^c ±0,20	9,59 ^g ±0,09	114,98 ^b ±0,04
	7,5%	133,20 ^b ±0,70	6,50 ^a ±0,08	115,70 ^b ±0,34
	10%	132,07 ^a ±0,68	9,60 ^g ±0,35	111,96 ^a ±0,49
Z udziałem proszku	2,5%	139,33 ^d ±0,72	9,09 ^{d,e,f} ±0,10	119,64 ^c ±0,46
	5%	139,10 ^d ±0,79	8,74 ^d ±0,20	120,53 ^d ±0,31
	7,5%	139,13 ^d ±0,81	9,13 ^{d,e,f} ±0,13	120,15 ^{c,d} ±0,05
	10%	138,93 ^d ±0,70	8,30 ^c ±0,11	121,37 ^e ±0,67
Dwuczynnikowa ANOVA-p				
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..g – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Wydajność ciasta badanych wariantów recepturowych była istotnie zróżnicowana pod wpływem zastosowanych dodatków buraczanych, w zakresie wartości od 132,07 do 142,33%. Najmniejszą średnią wartość uzyskano w badaniach chleba z 10% udziałem wytlóków (o 8% mniejszą niż dla chleba kontrolnego), natomiast największą dla chleba z udziałem soku buraczanego, która była na poziomie wydajności ciasta kontrolnego. Nie zanotowano różnic wydajności ciasta z dodatkiem proszku lub soku w zależności od udziału procentowego użytego dodatku. Należy zaznaczyć, że jedynie w badaniach ciast z wytlókami odnotowano istotne

zmiany wydajności ciasta, gdyż im większy był udział dodatku wykazano tym mniejszą wydajność ciasta. Wydajność ciasta pszennego z dodatkami (tabela 34) była o 20-40% mniejsza niż wartości uzyskane w badaniach Pycia i in. (2020), które dotyczyły chlebów wzbogaconych (161,87-177,55%).

Upiek chleba stanowi stratę masy pieczywa podczas wypieku wyrażoną w procentach. Parametr ten jest głównie uzależniony od warunków wypieku chleba m.in. temperatury i czasu pieczenia oraz sposobu i czasu zaparowania komory pieca na początku procesu (Jakubczyk i Haber 1983). Wyniki badań procesu wypiekowego chlebów pszennych z dodatkami były istotnie zróżnicowane (tabela 34). W przypadku próby kontrolnej uzyskano wynik równy 9,50% i był to jeden z najwyższych uzyskanych wyników obliczeń tego parametru. Duży upiek wykazały również chleby z 50% udziałem soku buraczanego (9,23%) oraz z 5 i 10% udziałem wytlóków (9,59% i 9,60%). Najmniejszą wartość omawianego parametru zaobserwowano w badaniach procesu wypiekowego chleba z 25% udziałem soku oraz z 7,5% udziałem wytlóków, średnio o 2,5% mniejszą od upieku chleba kontrolnego, co potwierdziła mapa ciepła (wykres 61, załącznik 18). Znacznie większy upiek pieczywa, blisko 15%, zanotowali Tolve i in. (2021), w badaniach dotyczących chleba pszennego z dodatkiem proszku z wytlóków winogronowych.

Wydajność pieczywa była istotnie zróżnicowana spośród badanych chlebów (tabela 34). Odnotowano wyniki w zakresie od 111,96% (wariant z 10% udziałem wytlóków) do 125,77% (wariant ze 100% udziałem soku). Chleby wzbogacone sokiem buraczanym uzyskały wydajność pieczywa od 4 do 6% większą niż ta uzyskana w wypieku chleba bez dodatków (119,60%). Natomiast przy zastąpieniu części mąki proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego (5, 7,5, 10%) wydajność uzyskanego pieczywa była o około 3% większa od wydajności próby kontrolnej. W przypadku wytlóków zwiększenie ich udziału w masie mieszanki skutkowało zmniejszeniem wydajności pieczywa od 0,2 do 7,0% w porównaniu z chlebem kontrolnym.

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ zarówno rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i wielkości jego udziału w mieszance wypiekowej na uzyskane średnie wartości parametrów procesu wypiekowego chleba pszennego (tabela 34). W większości omówionych wariantów uzyskano parametry zbliżone do tych uzyskanych w procesie wypiekowym chleba kontrolnego, co potwierdziła także mapa ciepła (wykres 61, załącznik 18). Największe zróżnicowanie parametrów procesu wypiekowego stwierdzono pomiędzy próbą kontrolną, a próbami z udziałem soku i proszku buraczanego.

Wzbogacanie pieczywa może wpływać na cechy fizykochemiczne wyrobu gotowego m.in. objętość chleba czy porowatości jego miękiszu. Wyniki badań parametrów fizykochemicznych badanych wzbogaconych chlebów pszennych przedstawiono w tabeli 35.

Tabela 35. Parametry fizykochemiczne badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa bochenka [g]	Objętość właściwa [cm ³ /g]	Objętość pieczywa [cm ³ /100g pieczywa]	Wilgotność miękiszu pieczywa [%]	Kwasowość miękiszu pieczywa [stopnie kwasowości]	Współczynnik porowatości Dallmana
Próba kontrolna (bez dodatków)		211,01 ^{a,b,c} ±2,12	3,00 ^f ±0,10	300 ^f ±10	43,93 ^d ±0,10	1,51 ^{a,b} ±0,07	100 ^c ±6
Z udziałem soku	25%	219,98 ^{d,e} ±0,81	2,64 ^{d,e} ±0,01	264 ^{d,e} ±1	44,33 ^{d,e} ±0,11	1,42 ^a ±0,03	100 ^c ±3
	50%	217,53 ^{d,e} ±0,90	2,66 ^{d,e} ±0,07	266 ^{d,e} ±7	42,59 ^{b,c} ±0,51	1,59 ^{b,c,d} ±0,04	90 ^b ±2
	75%	220,11 ^{d,e} ±0,94	2,56 ^d ±0,02	256 ^d ±2	40,36 ^a ±0,33	1,82 ^f ±0,08	90 ^b ±4
	100%	221,80 ^e ±1,27	2,38 ^{a,b} ±0,02	238 ^{a,b} ±2	41,05 ^a ±0,42	1,78 ^{e,f} ±0,10	80 ^a ±6
Z udziałem wytlóków	2,5%	211,05 ^{a,b,c} ±4,43	2,75 ^e ±0,02	275 ^e ±2	45,08 ^{e,f} ±0,10	1,49 ^{a,b} ±0,10	100 ^c ±1
	5%	209,49 ^{a,b} ±1,16	2,43 ^{b,c} ±0,07	243 ^{b,c} ±7	43,32 ^{b,c,d} ±0,03	1,68 ^{d,e} ±0,06	100 ^c ±1
	7,5%	211,67 ^{a,b,c} ±2,97	2,31 ^{a,b} ±0,05	231 ^{a,b} ±5	45,60 ^{f,g} ±0,02	1,57 ^{b,c,d} ±0,07	100 ^c ±2
	10%	206,53 ^a ±9,16	2,62 ^d ±0,03	262 ^d ±3	46,22 ^g ±0,26	1,55 ^{b,c} ±0,02	90 ^b ±6
Z udziałem proszku	2,5%	214,68 ^{b,c,d} ±1,74	2,54 ^{c,d} ±0,12	254 ^{c,d} ±12	43,55 ^{c,d} ±0,23	1,53 ^{a,b,c} ±0,03	90 ^b ±5
	5%	214,73 ^{b,c,d} ±1,34	2,43 ^{b,c} ±0,02	243 ^{b,c} ±2	43,30 ^{b,c,d} ±1,49	1,65 ^{c,d} ±0,02	90 ^b ±6
	7,5%	215,42 ^{c,d} ±1,06	2,44 ^{b,c} ±0,09	244 ^{b,c} ±9	44,39 ^{d,e} ±0,31	1,52 ^{a,b} ±0,06	90 ^b ±2
	10%	217,97 ^{d,e} ±0,81	2,30 ^a ±0,08	230 ^a ±8	42,30 ^b ±1,49	1,56 ^{b,c} ±0,09	80 ^a ±2
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,010	< 0,001
czynnik 2		0,014	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		0,020	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..g – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

W wypieku z mąki pszennej metodą bezpośrednią według Instytutu Piekarstwa w Berlinie zakłada się, że masa uzyskanego pojedynczego bochenka nie powinna być mniejsza niż 210 ± 2 g (Jakubczyk i Haber 1983). W przypadku badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkiem

buraczanym ten parametr był istotnie zróżnicowany, w granicach od 206,53 g do 221,80 g. Porównanie masy uzyskanych bochenków pozwoliło zauważyć, iż zastosowanie wzbogacenia wytlókami i proszkiem (tylko wariant 10%) nie wpłynęło na masę wyrobu gotowego. Jednocześnie, zastąpienie wody (częściowe lub w całości) sokiem buraczanym skutkowało zwiększeniem masy uzyskiwanych chlebów pszennych. Tę zależność wskazała także mapa ciepła, a wymienione warianty znalazły się w innym skupieniu niż próba kontrolna (wykres 62, załącznik 18). Ponadto odnotowano, iż różny udział dodatku nie miał wpływu na masę chleba wzbogaconego tym dodatkiem. Pieczywo z proszkiem charakteryzowało się tylko o 3-6 g większą masą, natomiast chleby z udziałem wytlóków wykazały masę taką, jak masa pieczywa kontrolnego. Odunlade i in. (2017) uzyskali pieczywo o masie od 134,4 do 154,2 g w badaniach pieczywa wzbogaconego proszkiem z liści warzyw uprawianych w Afryce (odmiany dyni, amarantusa i bakłazana). Próby badane z 3% udziałem dodatku wykazały o 10-20 g większą masę w porównaniu z próbą kontrolną (134,4 g).

Objętość chleba pszennego wypiekanego w formach wyrażona jako objętość [cm^3] na 100 g pieczywa powinna być na poziomie nie mniejszym niż 200 (PN-A-74112:1997). Badane chleby spełniły wymienione wymaganie dotyczące objętości wyrobu gotowego (tabela 35). Największą objętość uzyskano w badaniach próby kontrolnej – $300 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ pieczywa, a najmniejszą – w badaniach chlebów wzbogaconych dodatkami w największym badanym udziale (sok, proszek) oraz chleby z 7,5% udziałem wytlóków masie mąki ($230\text{-}238 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ pieczywa). Wyniki pomiarów objętości bochenków z maksymalnym zakładanym udziałem produktów z korzenia buraka ćwikłowego są zgodne z wynikami analizy amylograficznej (tabela 18). Zawiesiny mąki dodatkami miały dużą lepkość. Na objętość wyrobu istotny wpływ miał rodzaj dodatku buraczanego, jego udział w masie chleba oraz ich wzajemne zależności. Pieczywo o podobnej objętości uzyskali Baiano i in. (2015), Kohajdová i in. (2018) i Raczyk i in. (2022). W cytowanych badaniach pieczywo było wzbogacone w sok lub proszek warzywny, bądź w ekstrakty z wytlóków warzywnych.

Normy jakości określają także dopuszczalne wartości wilgotności miększu pieczywa po 6 godzinach od wypieku. Nie mogą one być wyższe niż 45%. Chleb o takiej wilgotności miększu ma bardzo dobrą ogólną jakość (PN-A-74112:1997). Badane pieczywo (tabela 35) w większości odpowiadało wymogom normy jakości. Wilgotność miększu badanych chlebów była zależna od rodzaju zastosowanego dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, wielkości udziału w masie pieczywa, a także zależności występujących pomiędzy tymi czynnikami. Największą wilgotność miększu chleba (o 3% większą niż w badaniach próby kontrolnej) zanotowano dla wariantu z 10% udziałem wytlóków w masie mąki (46,22%), natomiast najmniejszą (o 3% mniejszą niż

chleba bez dodatków) dla bochenków z 75% udziałem soku buraczanego (40,36%). Takie zależności znalazły potwierdzenie na mapie ciepła (wykres 62, załącznik 18). Podobne wyniki badań wilgotności miękiszu uzyskali Baiano i in. (2015) w badaniach pieczywa pszennego wzbogaconego o ekstrakty z wyłoków po produkcji soków warzywnych. Natomiast o 10% mniejszą wilgotność miękiszu uzyskali Djeghim i in. (2021) w badaniach chleba pszenego i bezglutenowego z udziałem proszku z wyłoków owocowych i warzywnych. Prawdopodobnie wskazane zróżnicowanie było związane z składem chemicznym dodatków oraz różnym ich udziałem w recepturach badanych chlebów.

Określona normami jakości (PN-A-74112:1997) kwasowość pieczywa dla chleba pszennego nie powinna przekraczać 3 stopni kwasowości. W omawianych badaniach (tabela 35) kwasowość pieczywa nie była większa niż 2 stopnie kwasowości. Istotny wpływ na ten parametr miał udział procentowy użytego w badaniach dodatku warzywnego oraz zależności pomiędzy udziałem, a rodzajem dodatku. Nie stwierdzono, aby tylko rodzaj dodatku z korzenia buraka ćwikłowego miał istotny wpływ kwasowość badanego pieczywa.

Porowatość miękiszu badanych chlebów pszennych z dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego była istotnie zróżnicowana w porównaniu z chlebem bez dodatków (tabela 35, fotografia 4-6, załącznik 13). Najmniejszy współczynnik porowatości (80) wykazały próby z 100% udziałem soku i 10% udziałem proszku buraczanego. Miękiś chlebów: kontrolnego, z 25% udziałem soku oraz z udziałem wyłoków na poziomie 2,5, 5 i 7,5% uzyskał maksymalną ocenę omawianego wskaźnika (100), świadczącą o drobnej i regularnej porowatości. Miękiś pozostałych prób badanych uzyskał współczynnik równy 90.

Badane chleby pszenne wzbogacone dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego poddano badaniom w zakresie pomiaru parametrów tekstury miękiszu, a wyniki przedstawiono w tabeli 36.

Tabela 36. Parametry tekstury miękkiszu (test TPA) badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Twardość [N]	Sprężystość [–]	Żujność [N]	Spoistość (kohezyjność) [–]
Próba kontrolna (bez dodatków)		7,29 ^{a,b} ±1,36	0,82 ^h ±0,03	4,62 ^{b,c} ±0,95	0,77 ^b ±0,02
Z udziałem soku	25%	7,75 ^{a,b} ±0,76	0,62 ^d ±0,02	2,94 ^a ±0,21	0,61 ^a ±0,01
	50%	12,74 ^{c,d} ±3,45	0,61 ^{c,d} ±0,04	4,36 ^{a,b,c} ±0,93	0,57 ^a ±0,03
	75%	10,08 ^{a,b,c} ±1,70	0,59 ^{b,c,d} ±0,04	3,39 ^{a,b} ±0,37	0,58 ^a ±0,06
	100%	9,44 ^{a,b,c} ±2,44	0,54 ^{a,b} ±0,02	2,85 ^a ±0,67	0,56 ^a ±0,04
Z udziałem wytlóków	2,5%	5,83 ^a ±1,84	0,80 ^{g,h} ±0,01	3,39 ^{a,b} ±1,30	0,72 ^b ±0,13
	5%	9,15 ^{a,b,c} ±1,23	0,72 ^{e,f} ±0,01	4,90 ^{b,c} ±0,63	0,74 ^b ±0,03
	7,5%	9,86 ^{a,b,c} ±2,05	0,73 ^{e,f} ±0,05	5,39 ^c ±0,74	0,76 ^b ±0,02
	10%	6,86 ^a ±0,57	0,75 ^g ±0,02	3,77 ^{a,b} ±0,57	0,73 ^b ±0,07
Z udziałem proszku	2,5%	11,89 ^{b,c,d} ±3,11	0,70 ^e ±0,04	4,35 ^{a,b,c} ±0,84	0,53 ^a ±0,01
	5%	12,94 ^{c,d} ±2,60	0,61 ^{c,d} ±0,04	4,49 ^{b,c} ±0,76	0,58 ^a ±0,01
	7,5%	15,23 ^d ±2,65	0,56 ^{a,b,c} ±0,01	4,62 ^{b,c} ±0,50	0,54 ^a ±0,03
	10%	16,33 ^d ±5,47	0,52 ^a ±0,04	4,73 ^{b,c} ±1,09	0,57 ^a ±0,03
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		0,085	< 0,001	0,223	< 0,001

a..h – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Twardość miękkiszu badanych chlebów była zróżnicowana pod wpływem rodzaju dodatku buraczanego oraz wielkości jego udziału w chlebie, natomiast nie zanotowano istotnych różnic dla wpływu jednocześnie obu czynników. Najmniejszą twardością wyróżniał się miękkisz chlebów z 2,5% i 10% udziałem wytlóków buraczanych w masie mąki użytej do wypieku. Przeciwnie, dużą twardością miękkiszu charakteryzowały się chleby z udziałem proszku i dla wariantu zawierającego 10% tego dodatku (w masie mąki użytej do wypieku) zanotowano największy wynik – o 8 N większy od chleba kontrolnego, co odzwierciedliła także mapa ciepła (wykres 63, załącznik 18). Badane pieczywo (tabela 36) było o większej twardości miękkiszu (nawet o 14 N) niż uzyskane w badaniach Parafati i in. (2020), w których zastosowanie proszku z owoców opuncji figowej nieznacznie zwiększyło wartości tego parametru, czyli do 2,81 N dla udziału 50% tego proszku w masie mąki pszennej. Raczyk i in. (2022) odnotowali w badaniach wpływu udziału w chlebie pszennym soku z korzenia buraka ćwikłowego dwukrotnie większą twardość i żujność miękkiszu niż uzyskane w badaniach własnych (tabela 37).

Sprężystość badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego była w zakresie od 0,52 do 0,80. Największą sprężystość miał miękkisz próby kontrolnej, a pod wpływem zastosowanych dodatków odnotowano istotne zmniejszenie

sprężystości miękiszu chlebów wzbogaconych. Szczególnie widoczne było to w badaniach wariantów z udziałem proszku i soku z korzenia buraka ćwikłowego, a uzyskane wyniki nie przekroczyły wartości 0,70. Sprężystość miękiszu chlebów z maksymalnym badanym udziałem dodatku osiągnęła wartość do 0,55. Parafati i in. (2020) w badaniach wpływu udziału proszku z owoców opuncji figowej na jakość pieczywa pszenneho uzyskali wyroby o sprężystości miękiszu o 30 jednostek większą niż w badaniach własnych (tabela 36). Ta znaczna różnica w wartościach tego parametru pomiędzy badaniami własnymi, a cytowanych autorów wynikała z zastosowania odmiennych poziomów udziału wybranych dodatków wzbogacających w recepturach chlebów.

Żujność miękiszu badanych chlebów (tabela 36) była zróżnicowana rodzajem dodatku z korzenia buraka ćwikłowego, a także wielkością jego udziału w chlebie. Nie zaobserwowano istotnych różnic przy jednoczesnym uwzględnieniu wymienionych czynników jakościowych. Mięki chleba kontrolnego wykazał żujność miękiszu równą 4,62 N. Wyniki pomiaru omawianego parametru dla wariantów z dodatkami były w granicach od 2,85 N (chleb z 100% udziałem soku) do 5,39 N (chleb z 7,5% zawartością wytlóków w masie maki użytej do wypieku). Ponadto, mapa ciepła (wykres 63, załącznik 18) wskazała na ścisły związek pomiędzy żujnością, a twardością miękiszu badanych chlebów pszennych. Badania własne (tabela 36), jak i innych autorów (Pycia i in. 2020) potwierdziły, że rodzaj dodatku wzbogacającego, a głównie jego skład chemiczny, w różnym stopniu wpływa na zmianę żujności miękiszu chlebów wzbogaconych w porównaniu z próbą kontrolną.

Spoistość miękiszu badanych wzbogaconych chlebów pszennych mieściła się w zakresie od 0,53 do 0,76. Mięki chlebów z wytlókami był podobny do próby kontrolnej pod względem spoistości. Próby z udziałem soku i proszku z korzenia buraka ćwikłowego cechowała mniejsza spoistość miękiszu w porównaniu z chlebem bez dodatków. Podobne wartości tego parametru uzyskali Różyło i in. (2009) w badaniach tekstury chleba pszenneho z różnym udziałem wody. W omawianych badaniach (tabela 36) również można zwrócić uwagę na zróżnicowany udział wody w miękiszu badanych chlebów (tabela 35).

W tabelach 37 i 38 przedstawiono średnie wartości parametrów barwy skórki i miękiszu badanych wzbogaconych chlebów pszennych. Zobrazowanie barwy skórki i miękiszu badanych chlebów przedstawiono na fotografiach 1-6 w załączniku 13.

Tabela 37. Parametry barwy skórki badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		L	a*	b*	ΔE^*
Próba kontrolna (bez dodatków)		63,30 ^g ± 3,09	9,39 ^a ± 3,33	32,85 ^g ± 2,30	–
Z udziałem soku	25%	45,59 ^d ± 1,67	23,82 ^f ± 1,97	21,21 ^{c,d} ± 2,57	22,70 ^c ± 1,58
	50%	39,09 ^{b,c} ± 5,80	23,39 ^f ± 3,34	16,59 ^{a,b,c} ± 1,05	29,80 ^{d,e} ± 4,44
	75%	34,50 ^{a,b} ± 1,40	23,78 ^f ± 1,89	16,38 ^{a,b} ± 1,37	33,22 ^{e,f} ± 1,09
	100%	32,39 ^a ± 0,95	22,81 ^{e,f} ± 1,64	14,37 ^a ± 1,84	35,65 ^f ± 1,19
Z udziałem wytlóków	2,5%	54,66 ^f ± 1,41	15,19 ^b ± 0,55	26,71 ^{e,f} ± 3,15	9,93 ^a ± 2,46
	5%	51,57 ^{e,f} ± 2,26	17,52 ^{b,c,d} ± 0,84	23,15 ^{d,e} ± 4,32	15,46 ^{b,c} ± 1,98
	7,5%	45,94 ^d ± 1,71	20,66 ^{d,e,f} ± 2,18	18,80 ^{a,b,c,d} ± 2,64	22,52 ^c ± 3,63
	10%	48,37 ^{d,e} ± 3,79	20,37 ^{d,e,f} ± 1,59	16,98 ^{a,b,c} ± 4,63	22,64 ^c ± 4,35
Z udziałem proszku	2,5%	50,57 ^{e,f} ± 1,90	16,38 ^{b,c} ± 1,32	27,62 ^f ± 1,18	12,27 ^{a,b} ± 2,06
	5%	40,64 ^c ± 1,89	18,48 ^{b,c,d} ± 0,85	23,08 ^{d,e} ± 2,14	23,21 ^c ± 2,46
	7,5%	37,82 ^{b,c} ± 0,25	19,16 ^{c,d,e} ± 0,08	21,07 ^{c,d} ± 0,01	26,68 ^{c,d} ± 0,21
	10%	36,21 ^{a,b,c} ± 0,53	18,14 ^{b,c,d} ± 0,43	19,26 ^{b,c,d} ± 1,04	28,72 ^{d,e} ± 0,61
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	0,042	0,315	0,008

a..g – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$

Porównanie parametrów barwy skórki (tabela 37) badanych wzbogaconych chlebów pszennych potwierdziło zależność od zastosowanego dodatku warzywnego i wielkość jego udziału w mieszance z mąką pszenną. W przypadku tych zmiennych nie wykazano istotnych różnic przy powiązaniach pomiędzy rodzajem dodatku z korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością udziału w chlebie. Skórka badanych chlebów ulegała pociemnieniu pod wpływem udziału poszczególnych dodatków (od 8 do 31 jednostek mniejsze wartości). Zaobserwowano także znaczne zwiększenie udziału barwy czerwonej [a^*] (o 13 jednostek więcej dla prób z sokiem) i zmniejszenie udziału barwy żółtej [b^*] (o 10 jednostek mniej dla prób z sokiem). Bezwzględna różnica barwy (ΔE^*) prób badanych względem próby kontrolnej wyniosła od 9,93 do 35,65, czyli była to wyraźna różnica barwy badanych obiektów, a tym samym wskazująca, iż te barwy są odbierane jako różne. Kohajdová i in. (2018) w badaniach bułek pszennych z udziałem proszku buraczanego zanotowali zbliżone wartości parametrów barwy skórki do uzyskanych w badaniach własnych (tabela 37).

Tabela 38. Parametry barwy miększu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

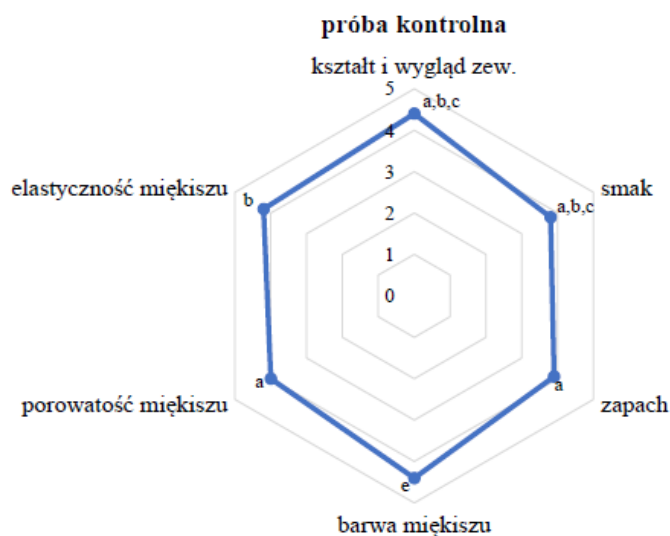
Badane pieczywo		L	a*	b*	ΔE^*
Próba kontrolna (bez dodatków)		65,17 ^g ±0,46	1,70 ^a ±0,12	20,00 ^b ±0,53	–
Z udziałem soku	25%	54,86 ^e ±0,57	8,39 ^e ±0,11	29,39 ^g ±0,27	15,49 ^d ±0,27
	50%	47,34 ^c ±3,90	14,39 ^g ±0,46	25,10 ^e ±1,04	22,60 ^e ±2,91
	75%	44,94 ^{b,c} ±1,91	18,65 ^h ±0,06	21,44 ^c ±0,93	26,47 ^f ±1,39
	100%	38,37 ^a ±0,73	23,05 ⁱ ±0,70	17,58 ^a ±0,04	34,35 ^g ±0,98
Z udziałem wytłoków	2,5%	63,39 ^g ±0,15	1,91 ^a ±0,12	25,17 ^e ±0,28	5,50 ^a ±0,22
	5%	59,45 ^f ±2,73	4,42 ^b ±1,31	26,21 ^e ±0,94	9,14 ^b ±1,78
	7,5%	57,32 ^{e,f} ±0,29	5,55 ^c ±0,40	27,85 ^f ±0,88	11,79 ^c ±0,69
	10%	52,16 ^d ±1,75	6,79 ^d ±0,09	27,81 ^f ±0,71	16,07 ^d ±1,13
Z udziałem proszku	2,5%	56,03 ^e ±1,71	4,85 ^{b,c} ±0,96	23,67 ^d ±0,32	10,40 ^{b,c} ±1,67
	5%	50,48 ^d ±1,38	8,37 ^e ±0,58	23,12 ^d ±0,45	16,45 ^d ±1,39
	7,5%	44,20 ^b ±1,50	11,75 ^f ±0,89	21,87 ^c ±0,64	23,36 ^e ±1,16
	10%	42,74 ^b ±0,44	13,86 ^g ±0,98	20,00 ^b ±1,06	25,55 ^f ±0,13
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

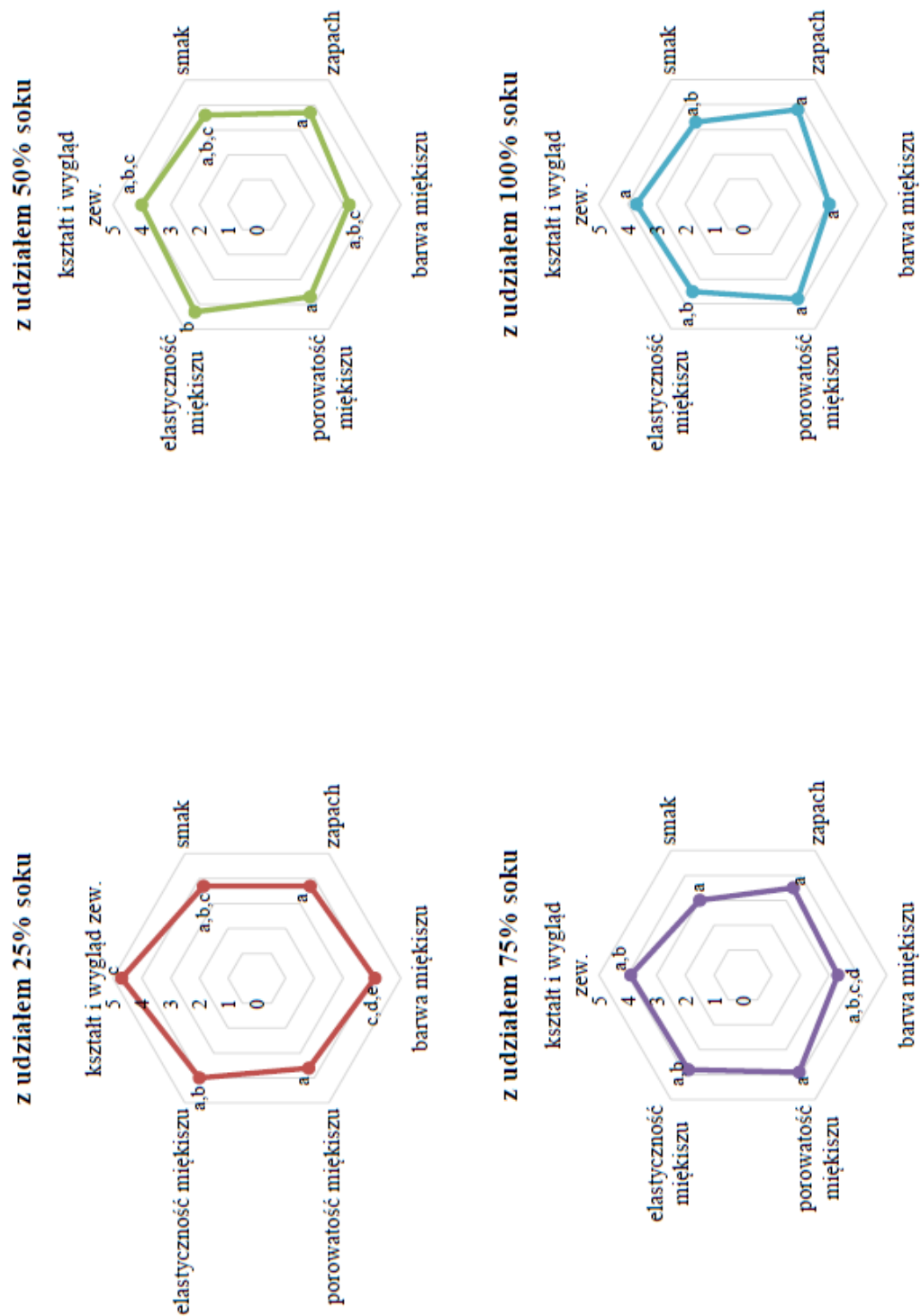
Barwa miększu badanych chlebów pszennych (tabela 38) była istotnie zależna od rodzaju zastosowanego dodatku z korzenia buraka ćwikłowego oraz od wielkości jego udziału w mieszance z mąką pszenną użytą do ich wytworzenia. Zwiększenie udziału danego składnika wzbogacającego powodowało obniżenie średnich wartości jasności [L], nawet do wartości 38,37 w badaniach chleba ze 100% udziałem soku w recepturze. Zwiększenie udziału dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego w chlebie spowodowało także zmianę barwy ich miększów. W przypadku próby kontrolnej był on bardziej żółty ($a^*=1,70$; $b^*=20,00$), a dla wariantów z sokiem i proszkiem – bardziej czerwony. W badaniach chleba uzyskanego przy zastosowaniu 100% zastąpienia wody sokiem buraczanym w recepturze były to wartości: $a^*=23,05$; $b^*=17,58$, natomiast dla miększu chleba z proszkiem (10%) były to wartości: $a^*=13,86$; $b^*=20,00$. Miększ chlebów z wytłokami z korzenia buraka ćwikłowego w porównaniu z próbą kontrolną był o większym udziale barwy czerwonej (1,91-6,79) i barwy żółtej (25,17-27,81). Wszystkie badane chleby z udziałem dodatków na bazie korzenia wybranego warzywa istotnie różniły się barwą miększu od barwy miększu chleba kontrolnego (bez dodatku). Wartość ΔE^* była większa niż 5, co wskazało na wyraźne różnice w barwie porównywanych prób, a ich barwa była postrzegana jak różne barwy miększu. Kohajdová i in. (2018) w badaniach bułek pszennych z dodatkiem proszku z korzenia burak ćwikłowego zanotowali podobne wyniki parametrów barwy. Raczyk

i in. (2022) dla badanych chlebów uzyskali wyniki parametru b^* zbliżone do zanotowanych w omawianych badaniach (tabela 38). W przypadku jasności barwy miękkiszu chlebów z udziałem soku buraczanego uzyskali oni o nawet 20 jednostek wyższe wartości, a parametr a^* i różnica barwy były o połowę mniejsze niż otrzymane w badaniach własnych wyniki (tabela 38). Cytowani autorzy zastosowali maksymalnie 50% udział soku buraczanego w recepturze badanych chlebów, co uzasadnia różnice w barwie wyrobów i wyników badań własnych (tabela 38).

Ocenę organoleptyczną chlebów pszennych z dodatkiem produktu z korzenia buraka ćwikłowego przeprowadzono metodą: 5-punktową w zakresie takich cech jak: kształt i wygląd zewnętrzny, smak, zapach, barwa miękkiszu, porowatość miękkiszu i jego elastyczność. Przeprowadzono również ocenę konsumencką badanych chlebów pszennych. Wyniki badań przedstawiono na wykresach od 1a do 1h.

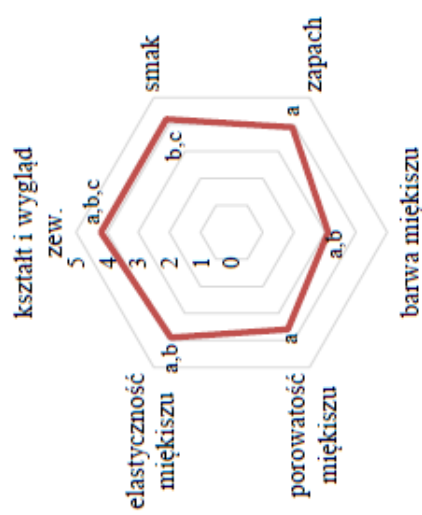


Wykres 1a. Wyniki oceny organoleptycznej chleba pszennej – próba kontrolna

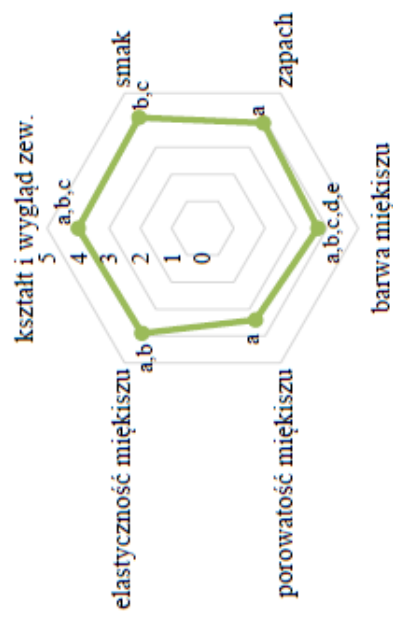


Wykres 1b. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszennych wzbogaconych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego

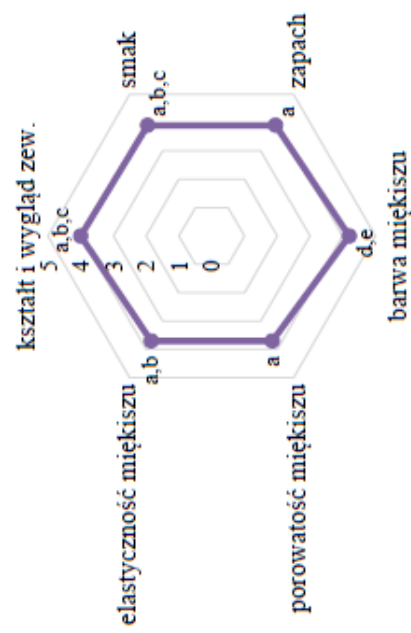
z udziałem 2,5% wytłoków



z udziałem 5% wytłoków



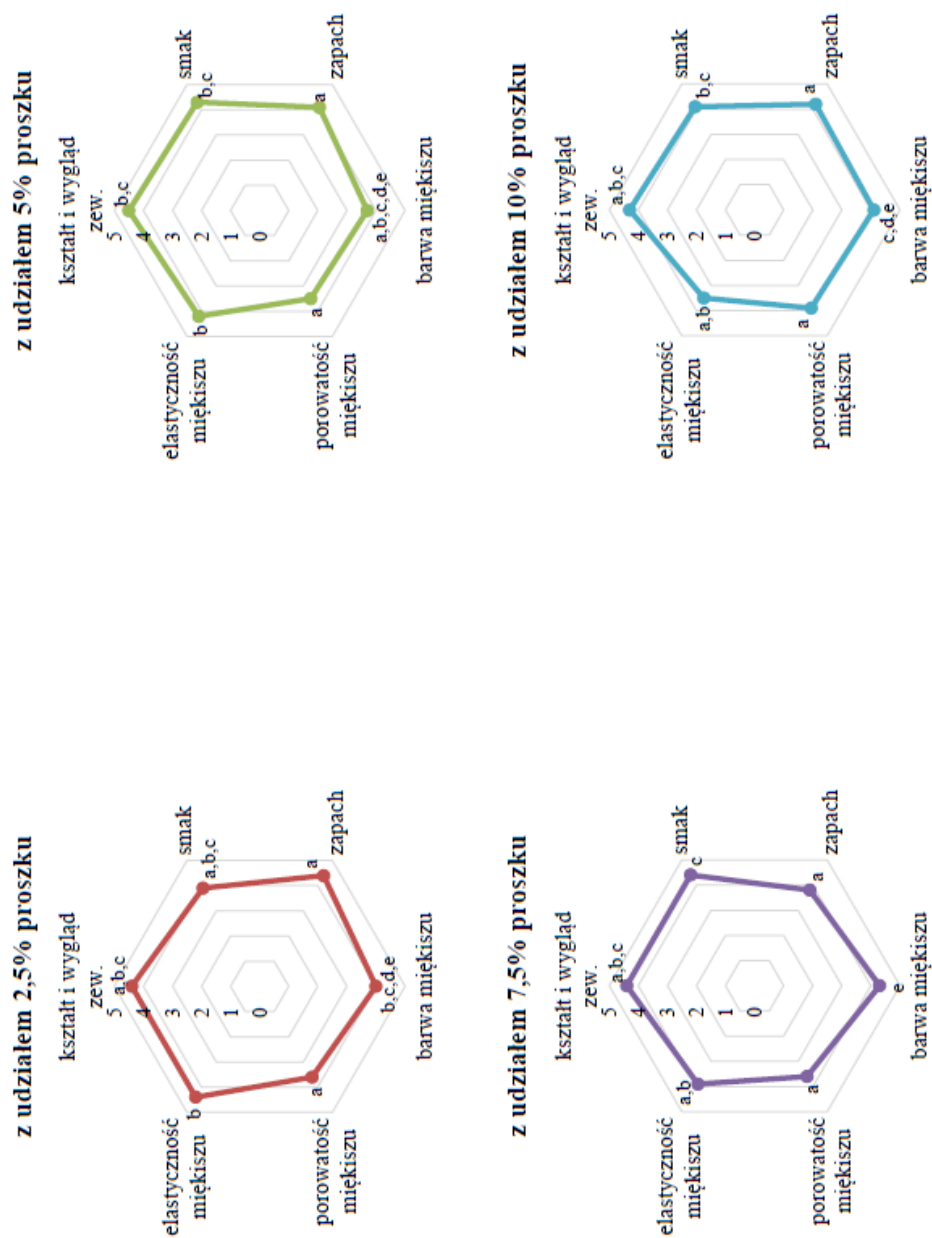
z udziałem 7,5% wytłoków



z udziałem 10% wytłoków



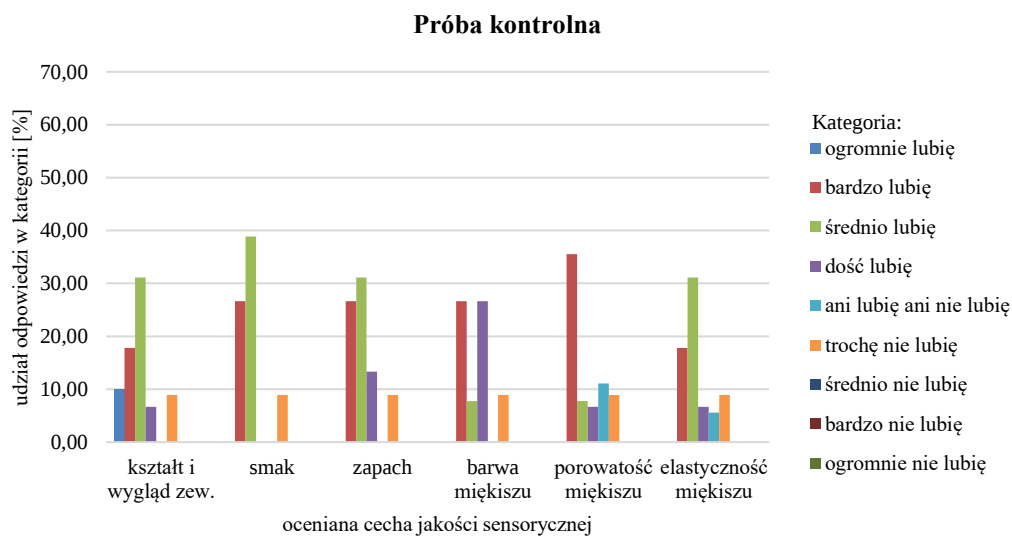
Wykres 1c. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszennych wzbogaconych wytłokami z korzenia buraka ćwikłowego



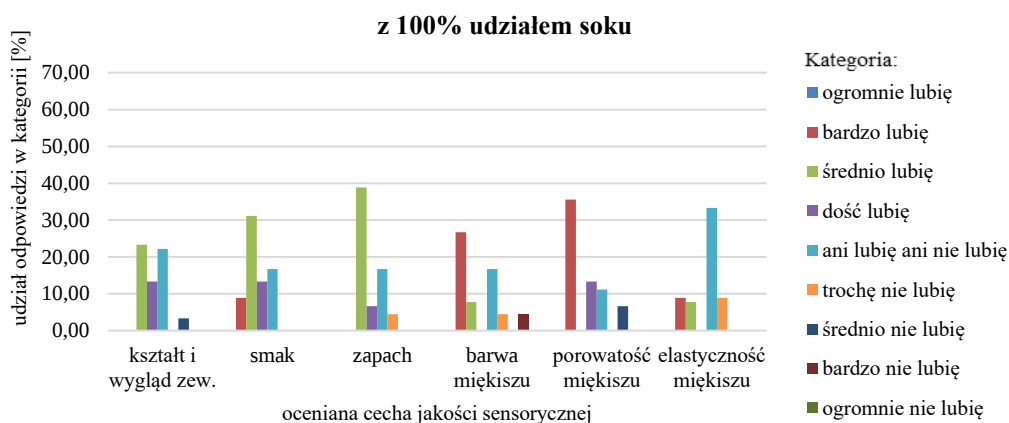
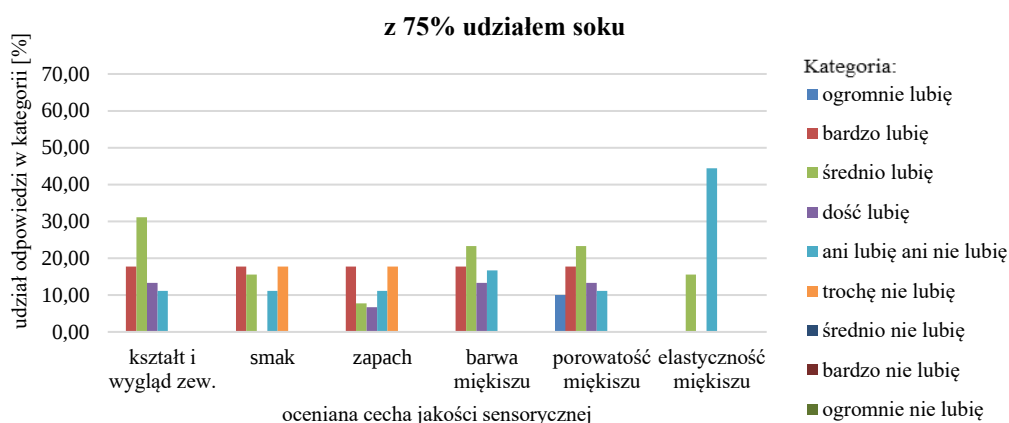
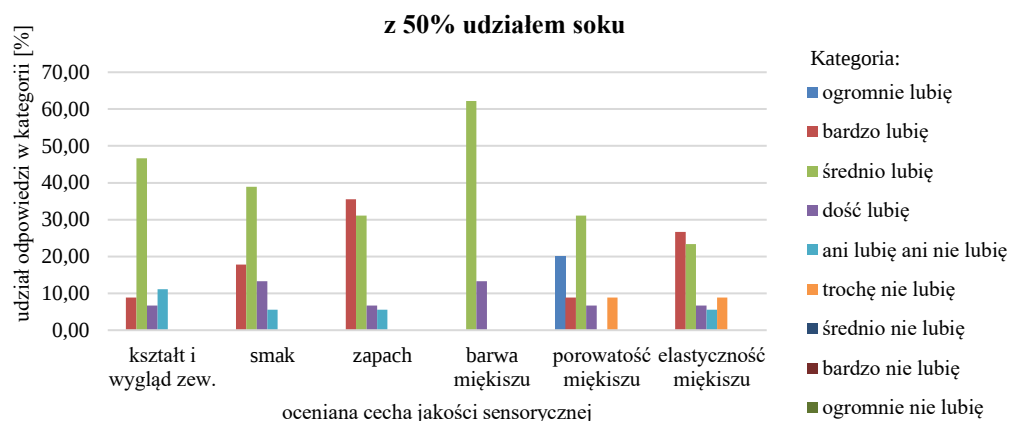
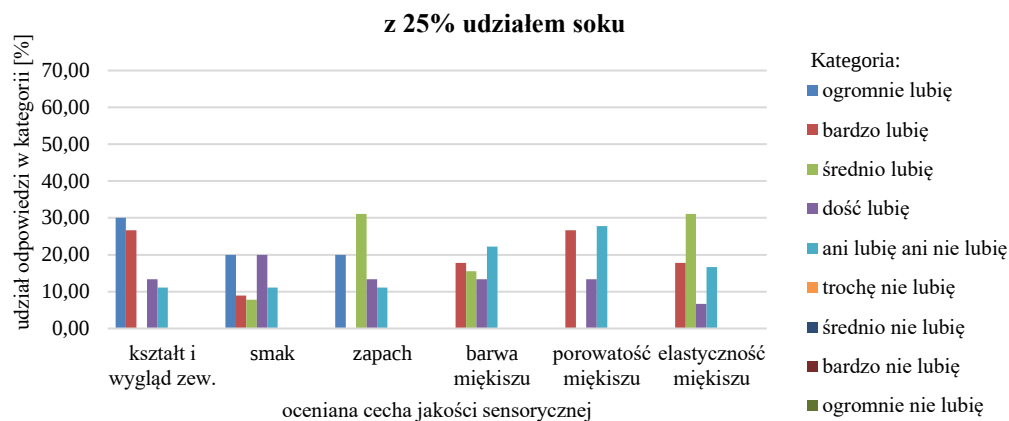
Wykres 1d. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszennych wzbogaconych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego

a..e – średnie wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$;

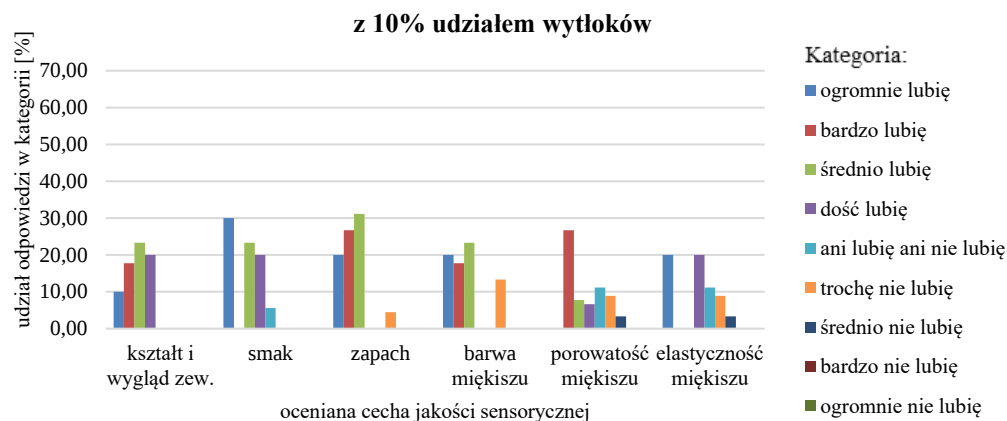
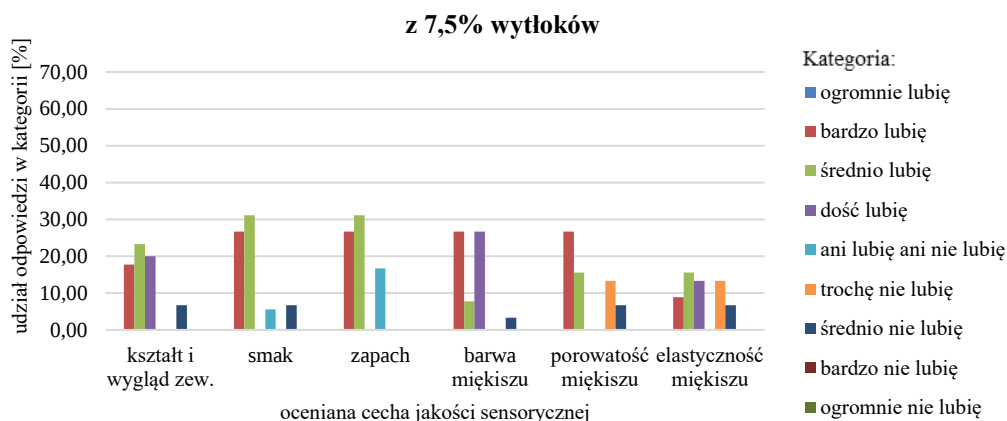
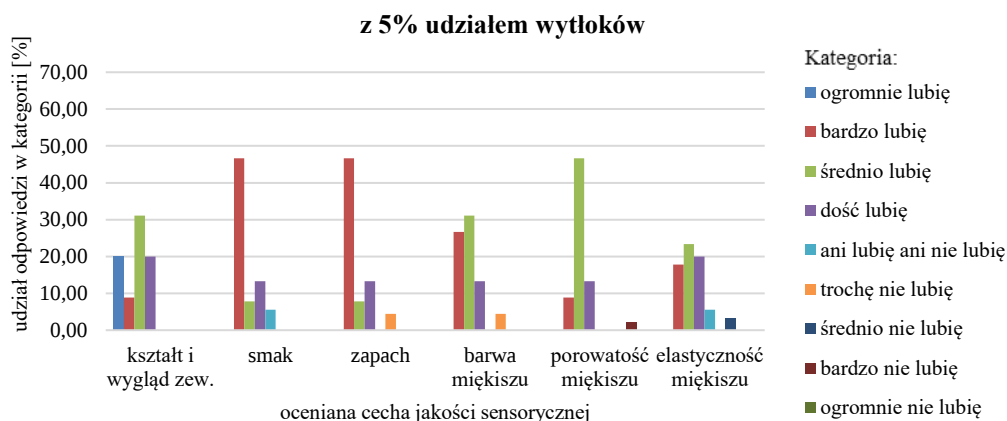
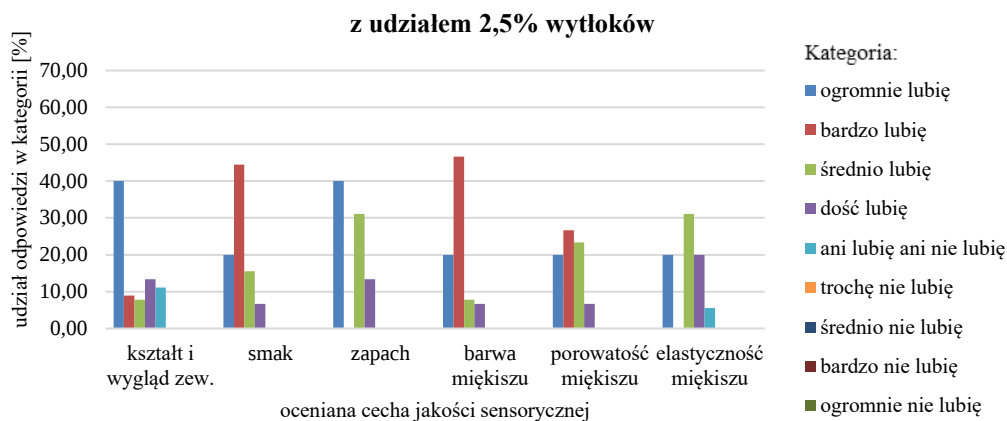
Porównanie wyników oceny 5-punktowej (wykresy od 1a-1d) potwierdziło istotne zróżnicowanie pod względem zastosowanego rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego i jego udziału w masie ciasta. Jedynie dla oceny porowatości miękiszu i zapachu chleba nie zaobserwowano istotnych różnic oceny tych wyróżników pod wpływem wymienionych czynników. Najlepiej oceniono barwę miękiszu, jego elastyczność oraz kształt i wygląd zewnętrzny bochenka, gdyż oceny tych wyróżników były nie mniejsze niż 4,0. Świadczy to o bardzo dobrej jakości sensorycznej badanych wzbogacanych chlebów. Należy zwrócić uwagę na pogorszenie smaku i zapachu za sprawą udziału dodatków na bazie buraka ćwikłowego, a prawdopodobnie ze względu na specyficzny (ziemisty) smak i zapach tego warzywa, który nie był akceptowany przez wszystkich ankietowanych. W porównaniu z chlebem bez dodatków pieczywo wzbogacone uzyskało lepsze oceny respondentów w zakresie elastyczności miękiszu i były to średnio o jeden punkt lepsze wyniki. Wcześniejsze badania innych autorów są podobne do omówionych wyników i także wskazują na wysoką jakość sensoryczną pieczywa z dodatkami na bazie warzyw lub owoców (Lucky i in. 2020, Kohajdová i in. 2018, Raczyk i in. 2022, Tolve i in. 2021).



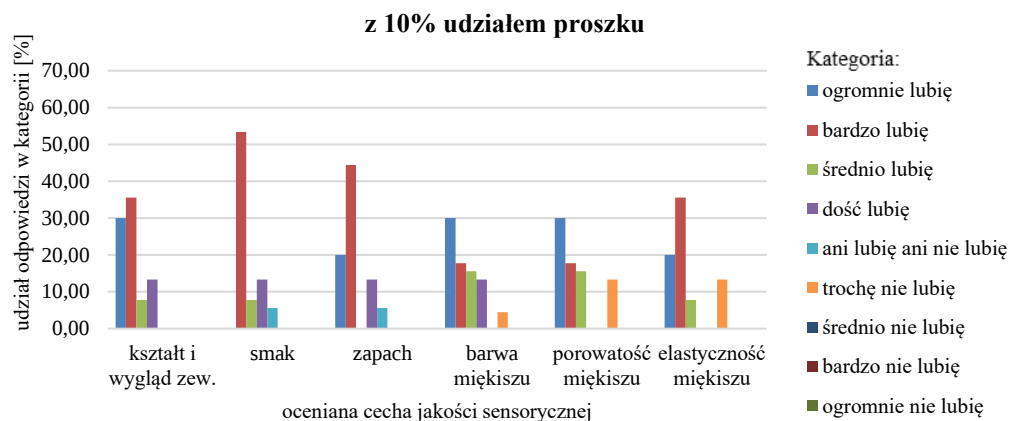
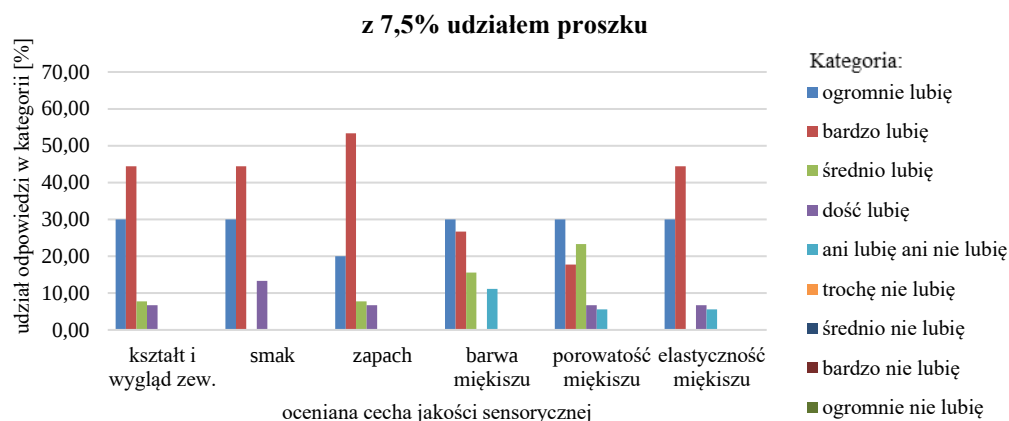
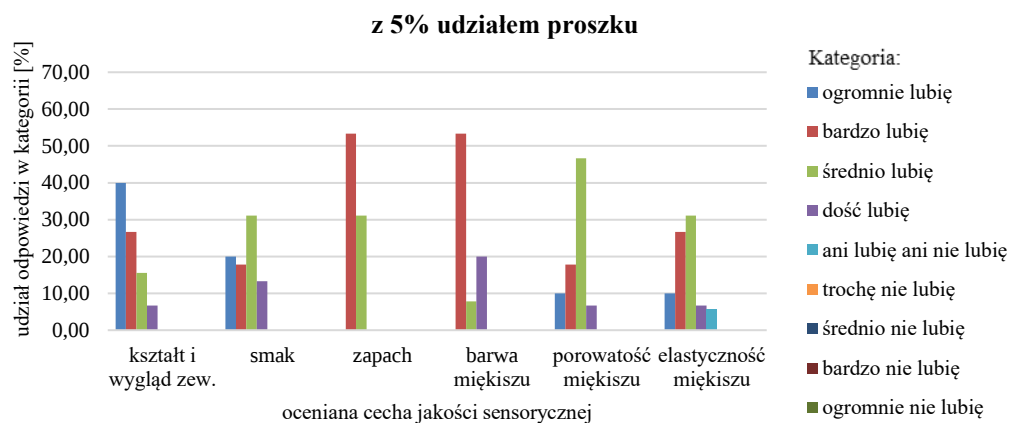
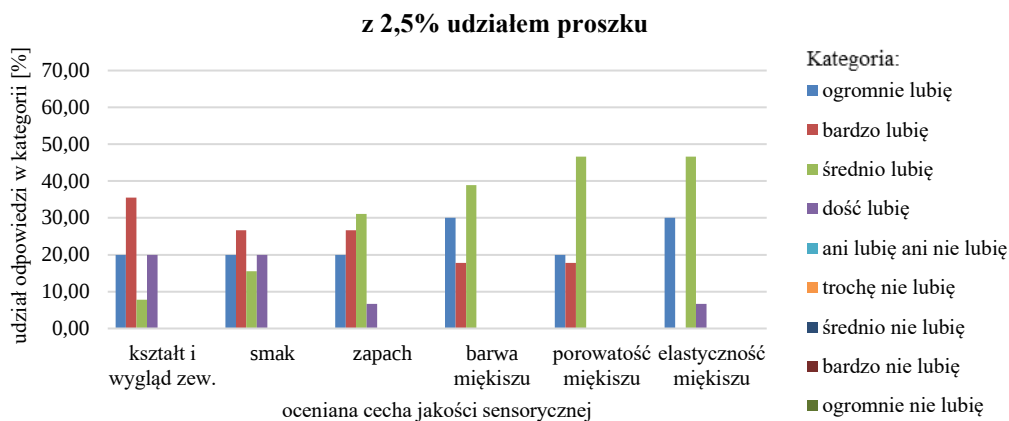
Wykres 1e. Wyniki oceny konsumenckiej chleba pszennego (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 1f. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszennych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego



Wykres 1g. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszennych z udziałem wytłoków z korzenia buraka ćwikłowego



Wykres 1h. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszennych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego

Ocena konsumencka (wykresy 1e-1h) wykazała, że najbardziej akceptowalną cechą badanych chlebów wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego był ich kształt i wygląd zewnętrzny, kolejną cechą był zapach, następnie smak i barwa miękiszu, natomiast najmniej pożądane były porowatość i elastyczność miękiszu. Najmniejszą akceptacją respondentów cieszyły się chleby z udziałem soku, a cechą obniżającą ich akceptowalność był głównie smak, dotyczyło to zwłaszcza pieczywa z 75% i 100% zastąpieniem w recepturze wody sokiem z korzenia buraka ćwikłowego. W przypadku pieczywa z udziałem wyłoków lub proszku większość konsumentów oceniło bardzo dobrze ich kształt i wygląd zewnętrzny oraz smak i zapach pieczywa, jak również elastyczność miękiszu. Niewielki udział ocen w kategorii „trochę nie lubię” odnotowano w ocenie barwy i porowatości miękiszu.

Wyniki oceny konsumenckiej były zbliżone do tych uzyskanych w ocenie organoleptycznej badanych chlebów pszennych z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego. Na tej podstawie można stwierdzić, że wprowadzenie tego rodzaju wzbogaconego pieczywa pszenne na rynek detaliczny mogłoby spotkać się z zainteresowaniem konsumentów, a z czasem osiągnąć dobre wyniki jego sprzedaży. Gotowy produkt wymagałby udoskonalenia technologii produkcji pod kątem optymalizacji wielkości udziału dodatków z korzenia buraka ćwikłowego.

4.2.1.2. Wartość odżywcza i prozdrowotna chlebów pszennych z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Wartość odżywcza i prozdrowotną chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodami analiz chemicznych zawartości podstawowych składników odżywczych, błonnika oraz zawartości barwników betalainowych, polifenoli ogółem oraz aktywności przeciwutleniającej (metoda ABTS i DPPH).

W tabeli 39 zaprezentowano obliczoną na podstawie danych Instytutu Żywności i Żywienia w Warszawie (Kunachowicz i in. 2020) wartość odżywcza chlebów bez dodatków z korzenia buraka ćwikłowego.

Tabela 39. Wartość odżywcza badanego pieczywa (na podstawie tabel wartości odżywczej IŻŻ)

Rodzaj chleba	Zawartość w 100 g świeżego chleba					
	Wartość energetyczna		Białko ogółem [g]	Tłuszcz ogółem [g]	Węglowodany ogółem [g]	Błonnik pokarmowy [g]
	kcal	kJ				
pszenno-żytni	258	1079	8,5	1,4	54,3	2,7
pszenno-żytni	256	1069	7,3	1,4	55,1	3,0
pszenno-owsiany	273	1144	9,2	3,2	52,9	3,6

Wyniki oceny wartości energetycznej i odżywczej badanych chlebów pszennych przedstawiono w tabeli 40. Badane pieczywo pszenne charakteryzowało się istotnym zróżnicowaniem wartości odżywczej w zależności od zastosowanego dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego oraz wielkości udziału dodatku w mieszance z mąką użytą do jego wypieku. Wartość energetyczna chlebów z 100% udziałem soku i 10% udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego była najmniejsza, co świadczy o tym, że dodatek ten wpłynął korzystnie na obniżenie kaloryczności tego rodzaju pieczywa. W przypadku chlebów z udziałem wyłoków wyłącznie dla próby z 5% udziałem tego dodatku wartość energetyczna była mniejsza od uzyskanej dla próby kontrolnej. Zanotowane wartości kaloryczności (tabela 40) oraz uzyskane przez Reguła i Gramza-Michałowską (2013) i Raczyk i in. (2021) świadczą o wpływie rodzaju i wielkości udziału dodatku na wartość energetyczną uzyskanego chleba wzbogaconego.

Tabela 40. Wartość odżywcza badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Zawartość w 100 g świeżego chleba					
		Wartość energetyczna		Białko ogółem [g]	Tłuszcz ogółem [g]	Węglowodany ogółem [g]	Błonnik pokarmowy [g]
		kcal	kJ				
Próba kontrolna (bez dodatków)		216,12 ^{c,d} ±0,85	903,87 ^{c,d} ±3,56	7,12 ^{c,d} ±0,03	1,17 ^{c,d} ±0,00	45,49 ^{c,d} ±0,18	2,26 ^{c,d} ±0,01
Z udziałem soku	25%	219,82 ^{d,e} ±0,69	919,32 ^{d,e} ±2,90	7,24 ^{d,e} ±0,02	1,19 ^{d,e} ±0,00	46,26 ^{d,e} ±0,15	2,30 ^{d,e} ±0,01
	50%	212,17 ^{b,c} ±1,79	887,32 ^{b,c} ±7,48	6,99 ^{b,c} ±0,06	1,15 ^{b,c} ±0,01	44,65 ^{b,c} ±0,38	2,22 ^{b,c} ±0,02
	75%	205,63 ^a ±0,62	859,99 ^a ±2,60	6,77 ^a ±0,02	1,12 ^a ±0,00	43,28 ^a ±0,13	2,15 ^a ±0,01
	100%	206,70 ^a ±1,66	864,44 ^a ±6,95	6,81 ^a ±0,05	1,12 ^a ±0,01	43,50 ^a ±0,35	2,16 ^a ±0,02
Z udziałem wytlóków	2,5%	220,39 ^{d,e} ±1,74	921,71 ^{d,e} ±7,28	7,26 ^{d,e} ±0,06	1,20 ^{d,e} ±0,01	46,38 ^{d,e} ±0,37	2,31 ^{d,e} ±0,02
	5%	211,33 ^b ±0,48	883,81 ^b ±2,00	6,96 ^b ±0,02	1,15 ^b ±0,00	44,48 ^b ±0,10	2,21 ^b ±0,00
	7,5%	221,95 ^e ±0,31	928,22 ^e ±1,29	7,31 ^e ±0,01	1,20 ^e ±0,00	46,71 ^e ±0,06	2,32 ^e ±0,00
	10%	226,83 ^f ±5,52	948,64 ^f ±23,07	7,47 ^f ±0,18	1,23 ^f ±0,03	47,74 ^f ±1,16	2,37 ^e ±0,06
Z udziałem proszku	2,5%	209,65 ^{a,b} ±1,65	876,79 ^{a,b} ±6,90	6,91 ^{a,b} ±0,05	1,14 ^{a,b} ±0,01	44,12 ^{a,b} ±0,35	2,76 ^f ±0,02
	5%	209,84 ^{a,b} ±4,26	877,57 ^{a,b} ±17,81	6,91 ^{a,b} ±0,14	1,14 ^{a,b} ±0,02	44,16 ^{a,b} ±0,90	3,20 ^g ±0,04
	7,5%	213,51 ^{b,c} ±0,99	892,92 ^{b,c} ±4,14	7,03 ^{b,c} ±0,03	1,16 ^{b,c} ±0,01	44,94 ^{b,c} ±0,21	3,80 ^h ±0,01
	10%	206,06 ^a ±5,17	861,80 ^a ±21,61	6,79 ^a ±0,17	1,12 ^a ±0,03	43,37 ^a ±1,09	4,70 ⁱ ±0,05
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Wartość odżywcza żywności jest kształtowana głównie poprzez zawartość podstawowych składników, takich jak białko, związki tłuszczowe, węglowodany, z których istotne są m.in. cukry proste i błonnik pokarmowy. W przypadku zawartości białka zanotowano istotne różnice pomiędzy wynikami w zależności od rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego i wielkości udziału w recepturze chleba wzbogaconego. Zmniejszenie zawartości białka w stosunku do próby kontrolnej odnotowano w badaniach chlebów z 5% udziałem wytlóków oraz wszystkich wariantów chleba z proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego, co prawdopodobnie wynikało

z różnej zawartości białka w mące i dodatkach wzbogacających. Podobne zależności zanotowano dla pozostałych składników odżywczych. W stosunku do danych obliczonych na podstawie tabel wartości odżywczej Instytutu Żywności i Żywienia w Warszawie dla chleba pszennego (tabela 39), zastosowane dodatki na bazie buraka ćwikłowego wpłynęły na zmniejszenie zawartości węglowodanów. Było to maksymalnie do 43,28 g/100 g chleba dla prób z udziałem soku buraczanego. Był to także główny powód znacznego zmniejszenia wartości energetycznej chleba.

Ze względu na zróżnicowanie koncentracji fioletowych i żółtych betalain w masie całego chleba (widoczne na jego przekroju – fotografie 4-6, załącznik 13) ich zawartość zmierzono osobno w skórce i miększu, co przedstawiają tabele 41-45.

Koncentrację betalain w skórce chlebów pszennych przedstawiono w tabeli 41.

Tabela 41. Zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 100 g ś.m. skórki]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 100 g ś.m. skórki]	Betalainy ogółem [mg/100 g ś.m. skórki]
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,77	21,96	–	–	–
Z udziałem soku	25%	33,00	22,16	4,650 ^f ±0,015	4,626 ^f ±0,014	9,276 ^f ±0,029
	50%	32,62	21,30	5,329 ⁱ ±0,021	4,930 ^g ±0,020	10,259 ^h ±0,040
	75%	33,02	20,18	5,588 ^j ±0,037	4,844 ^g ±0,030	10,432 ^j ±0,066
	100%	33,25	20,53	6,433 ^k ±0,048	5,279 ⁱ ±0,044	11,712 ^k ±0,092
Z udziałem wytlóków	2,5%	31,88	22,54	2,243 ^b ±0,024	2,166 ^b ±0,019	4,409 ^b ±0,043
	5%	31,48	21,66	2,182 ^a ±0,024	2,014 ^a ±0,015	4,197 ^a ±0,038
	7,5%	31,69	22,80	2,511 ^c ±0,069	2,248 ^c ±0,049	4,759 ^c ±0,117
	10%	30,65	23,11	2,832 ^d ±0,010	2,531 ^d ±0,005	5,363 ^d ±0,015
Z udziałem proszku	2,5%	32,34	21,77	3,166 ^e ±0,000	3,125 ^e ±0,000	6,291 ^e ±0,000
	5%	32,32	21,65	4,891 ^g ±0,028	4,968 ^g ±0,014	9,859 ^g ±0,041
	7,5%	32,38	22,20	5,167 ^h ±0,028	5,374 ^h ±0,025	10,540 ⁱ ±0,053
	10%	32,77	21,15	7,185 ⁱ ±0,021	7,483 ⁱ ±0,009	14,668 ⁱ ±0,030
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..I – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka.

W przypadku skórki zanotowano istotne różnice w zawartości barwników betalainowych w zależności od rodzaju produktu z korzenia buraka ćwikłowego i wielkości jego udziału w cieście. Potwierdził to także układ korelacji na mapie ciepła (wykres 66, załącznik 19). Skórka pieczywa wzbogaconego w dodatki z korzenia buraka ćwikłowego zawierała średnio o 0,3 mg

więcej barwników fioletowych niż żółtych. Wyjątkiem była próba z 2,5% udziałem proszku, gdzie stwierdzono o 0,03 mg więcej barwników żółtych niż fioletowych. Największą zawartość barwników betalainowych zanotowano dla skórki z 10% udziałem proszku buraczanego (14,668 mg/100 g ś.m. skórki). Podobne zawartości barwników betalainowych zanotowali także Parafati i in. (2020) w badaniach pieczywa z proszkiem z owoców opuncji figowej.

Szczegółowy profil zidentyfikowanych związków betalainowych w badanym pieczywie zamieszczono w tabeli 42, natomiast w tabeli 43 przedstawiono oszacowaną zawartość zidentyfikowanych związków betalainowych w skórcie badanych chlebów pszennych.

Tabela 42. Profil związków betalainowych zidentyfikowanych metodą UPLC-PDA-ESI-MS

Nr.	Związek chemiczny	R _t [min]	MS [m/z] ⁺	MS/MS [m/z] ⁺	λ _{max} [nm]
1	5-O-glukozyd betanidyny (betanina)	1,99	551	389	535
2	5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina)	2,22	551	389	535
3	17-dekarboksy-betanina	2,46	507	297	536
4	17-dekarboksy-neobetanina	2,50	505	297	527
5	2-dekarboksy-betanina	2,69	507	297	536
6	2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina	2,73	459	297	536

Oszacowana zawartość zidentyfikowanych związków betalainowych w skórcie chlebów pszennych (tabela 43) była istotnie zróżnicowana w zależności od rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w cieście. Spośród zidentyfikowanych w badanym pieczywie betalain w skórcie wszystkich prób badanych występowała betanina (5-O-glukozyd betanidyny). Jej zawartość dla prób z udziałem soku buraczanego zawierała się w przedziale od 3 do 4 mg/100 g ś.m. skórki. W próbach tych występowały także: izobetanina (5-O-glukozyd izobetanidyny), 17-dekarboksy-betanina i 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina. Podobny układ zidentyfikowanych związków betalainowych zanotowano dla wariantów z udziałem proszku buraczanego. W próbach z wyciekami istotne ilości zidentyfikowanych związków wykryto w próbach z 7,5 i 10% udziałem w masie mąki określonej recepturą chleba. Były to betanina, izobetanina, 2-dekarboksy-betanina i 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina. Pozostałe związki występowały w ilościach śladowych. Dla prób z 2,5 i 5% udziałem wycieków zawartości poszczególnych związków betalainowych były poniżej progu oznaczalności.

Tabela 43. Oszacowana zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. skórki]

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Suma betalain
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,77	21,96	–	–	–	–	–	–	–
Z udziałem soku	25%	33,00	22,16	2,949 ^e ±0,061	1,232 ^b ±0,003	2,983 ^e ±0,002	<LOQ	0,751 ^d ±0,012	1,360 ^c ±0,048	9,276 ^d ±0,029
	50%	32,62	21,30	3,654 ^g ±0,076	1,826 ^d ±0,029	3,389 ^g ±0,055	<LOQ	0,383 ^a ±0,027	1,006 ^a ±0,022	10,259 ^f ±0,040
	75%	33,02	20,18	3,213 ^f ±0,044	2,048 ^f ±0,000	2,406 ^c ±0,047	0,496 ^a ±0,028	0,547 ^b ±0,002	1,721 ^{d,e} ±0,061	10,432 ^g ±0,066
	100%	33,25	20,53	3,924 ^h ±0,024	2,262 ^g ±0,005	2,715 ^d ±0,083	0,575 ^b ±0,009	0,624 ^c ±0,010	1,613 ^d ±0,101	11,712 ⁱ ±0,092
Z udziałem wytlóków	2,5%	31,88	22,54	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	5%	31,48	21,66	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	7,5%	31,69	22,80	1,318 ^b ±0,071	0,898 ^a ±0,019	<LOQ	<LOQ	1,586 ^g ±0,028	0,958 ^a ±0,023	4,759 ^a ±0,117
	10%	30,65	23,11	2,045 ^c ±0,014	0,847 ^a ±0,039	<LOQ	<LOQ	1,478 ^f ±0,012	0,993 ^a ±0,066	5,363 ^b ±0,015
Z udziałem proszku	2,5%	32,34	21,77	1,088 ^a ±0,002	1,495 ^c ±0,045	1,738 ^a ±0,024	<LOQ	0,762 ^d ±0,008	1,209 ^b ±0,059	6,291 ^c ±0,000
	5%	32,32	21,65	2,646 ^d ±0,081	1,958 ^e ±0,031	2,746 ^d ±0,048	0,620 ^c ±0,007	0,664 ^c ±0,071	1,225 ^b ±0,015	9,859 ^e ±0,041
	7,5%	32,38	22,20	2,954 ^e ±0,069	2,262 ^g ±0,069	2,016 ^b ±0,061	0,633 ^c ±0,048	0,920 ^e ±0,050	1,755 ^e ±0,063	10,540 ^h ±0,053
	10%	32,77	21,15	3,845 ^h ±0,078	2,965 ^h ±0,070	3,169 ^f ±0,107	0,791 ^d ±0,024	1,440 ^f ±0,040	2,458 ^f ±0,132	14,668 ^j ±0,030
Dwuczynnikowa ANOVA-p										
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

[1]- 5-O-glukozyd betanidyny (betanina)

[2]- 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina)

[3]- 17-dekarboksy-betanina

[4]- 17-dekarboksy-neobetanina

[5]- 2-dekarboksy-betanina

[6]- 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka; śl. – śladowa ilość (poniżej progu oznaczalności, ang. limit of quantification).

Zawartość związków betalainowych w miększu badanego pieczywa pszennego przedstawiono w tabeli 44.

Tabela 44. Zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa miększu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miększu [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 100 g ś. m. miększu]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 100 g ś. m. miększu]	Betalainy ogółem [mg/100 g ś. m. miększu]
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,06	43,93	–	–	–
Z udziałem soku	25%	187,02	44,33	1,349 ^e ±0,007	1,339 ^d ±0,007	2,685 ^d ±0,014
	50%	184,86	42,59	1,731 ^e ±0,011	1,733 ^f ±0,008	3,464 ^f ±0,019
	75%	187,09	40,36	2,731 ^h ±0,005	2,488 ^h ±0,002	5,219 ^h ±0,007
	100%	188,44	41,05	4,137 ⁱ ±0,018	3,470 ^j ±0,015	7,607 ^k ±0,032
Z udziałem wytlóków	2,5%	180,67	45,08	1,231 ^a ±0,016	0,998 ^a ±0,012	2,229 ^a ±0,028
	5%	178,41	43,32	1,389 ^b ±0,006	1,246 ^b ±0,008	2,635 ^c ±0,013
	7,5%	179,60	45,60	1,418 ^c ±0,026	1,398 ^d ±0,016	2,816 ^d ±0,042
	10%	173,66	46,22	1,264 ^a ±0,009	1,376 ^c ±0,016	2,640 ^b ±0,016
Z udziałem proszku	2,5%	183,26	43,55	1,603 ^d ±0,006	1,643 ^e ±0,004	3,246 ^e ±0,008
	5%	183,15	43,30	2,130 ^f ±0,006	2,390 ^g ±0,004	4,520 ^g ±0,009
	7,5%	183,46	44,39	2,722 ^g ±0,024	3,189 ⁱ ±0,014	5,911 ⁱ ±0,038
	10%	185,67	42,30	3,159 ^j ±0,021	3,820 ^k ±0,014	6,979 ^j ±0,034
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; * - przyjęto, że miększ stanowił 85% średniej masy bochenka

Zawartość barwników betalainowych w miększu chlebów pszennych była istotnie zróżnicowana pod względem rodzaju zastosowanego dodatku buraczanego oraz wielkości jego udziału (tabela 44). W przypadku miększu pieczywa z udziałem soku zanotowano większą (maksymalnie o 1 mg/100 g ś.m.) koncentrację barwników fioletowych niż żółtych. Natomiast dla miększu chlebów z udziałem wytlóków lub proszku buraczanego stwierdzono odwrotną zależność. Szczególnie widoczne było to dla chlebów z wytlókami, których miększe były zauważalnie bardziej żółte niż pozostałe próby badane i próba kontrolna (fotografia 5, załącznik 13). Pod względem ogólnej sumy betalain największe ich stężenie zanotowano w badaniach miększu chlebów: ze 100% udziałem soku (7,607 mg/100 g ś.m. miększu), z 10% udziałem proszku (6,979 mg/100 g ś.m. miększu) oraz z 7,5% udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego (5,911 mg/100 g ś.m. miększu). Zaobserwowane korelacje potwierdza także mapa ciepła (wykres 64, załącznik 19), gdzie widoczne są dwa skupiska, pierwsze bliskie próbie

kontrolnej do którego zaliczono próby z udziałem wyłoków (kolor czerwony – wartości niskie) i drugie, dla których uzyskana zawartość barwników betalainowych była wysoka (kolor niebieski). Podobne zawartości barwników betalainowych zanotowali Parafati i in. (2020) w badaniach chlebów pszennych z proszkiem z owoców opuncji figowej.

W badaniach miękiszu chlebów pszennych z udziałem soku, wyłoków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego wykryto obecność sześciu związków betalainowych (tabela 45). Profil tych związków przedstawiono w tabeli 42 na stronie 134. Zaobserwowano istotne zróżnicowanie pomiędzy zawartościami poszczególnych związków, na które wpływ miał rodzaj dodatku buraczanego oraz wielkość jego udziału w recepturze chleba. W większości prób badanych dominującym związkiem był 5-O-glukozyd betanidyny (betanina). Jego zawartość w 100 g ś.m. miękiszu przekraczała wartość 1 mg, a dla prób z maksymalnym udziałem badanych rodzajów dodatków była bliska 3 mg/100 g ś.m. Zidentyfikowano także 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanine i 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina). Pozostałe wykryte betalainy występowały w ilościach śladowych, w szczególności dla prób o małym udziale procentowym dodatku buraczanego. W miękiszu chlebów z 2,5 do 7,5% udziałem wyłoków wszystkie zidentyfikowane związki betalainowe występowały w ilościach poniżej progu oznaczalności.

Tabela 45. Oszacowana zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. miększu]

Badane pieczywo		Masa miększu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miększu [%]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Suma betalain
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,06	43,93	–	–	–	–	–	–	–
Z udziałem soku	25%	187,02	44,33	1,301 ^c ±0,015	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,384 ^e ±0,015	2,685 ^b ±0,014
	50%	184,86	42,59	1,320 ^c ±0,003	0,643 ^a ±0,019	0,562 ^d ±0,009	<LOQ	0,229 ^a ±0,002	0,711 ^c ±0,023	3,464 ^d ±0,019
	75%	187,09	40,36	2,166 ^f ±0,034	0,907 ^c ±0,015	0,243 ^a ±0,003	0,064 ^a ±0,002	0,480 ^c ±0,020	1,359 ^{d,e} ±0,005	5,219 ^f ±0,007
	100%	188,44	41,05	2,974 ^h ±0,102	1,456 ^f ±0,046	0,509 ^c ±0,015	0,169 ^c ±0,005	0,683 ^e ±0,011	1,816 ^g ±0,025	7,607 ±0,032
Z udziałem wyłoków	2,5%	180,67	45,08	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	5%	178,41	43,32	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	7,5%	179,60	45,60	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	10%	173,66	46,22	0,944 ^a ±0,016	0,679 ^a ±0,012	<LOQ	<LOQ	0,515 ^d ±0,004	0,502 ^a ±0,032	2,640 ^a ±0,016
Z udziałem proszku	2,5%	183,26	43,55	1,177 ^b ±0,044	0,765 ^b ±0,024	0,293 ^b ±0,011	<LOQ	0,393 ^b ±0,006	0,617 ^b ±0,003	3,246 ^c ±0,008
	5%	183,15	43,30	1,817 ^d ±0,074	0,672 ^a ±0,021	<LOQ	<LOQ	0,684 ^e ±0,042	1,347 ^d ±0,010	4,520 ^e ±0,009
	7,5%	183,46	44,39	1,930 ^e ±0,050	0,995 ^d ±0,023	0,550 ^d ±0,007	0,283 ^d ±0,005	0,695 ^e ±0,011	1,459 ^f ±0,035	5,911 ^g ±0,038
	10%	185,67	42,30	2,422 ^g ±0,084	1,349 ^e ±0,041	0,290 ^b ±0,013	0,151 ^b ±0,008	0,923 ^f ±0,006	1,844 ^g ±0,015	6,979 ^h ±0,034
Dwuczynnikowa ANOVA-p										
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

[1]- 5-O-glukozyd betanidyny (betanina)

[2]- 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina)

[3]- 17-dekarboksy-betanina

[4]- 17-dekarboksy-neobetanina

[5]- 2-dekarboksy-betanina

[6]- 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina

a..h – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miększ stanowił 85% średniej masy bochenka; <LOQ – śladowa ilość (poniżej progu oznaczalności, ang. limit of quantification).

Wzbogacenie produktami z korzenia buraka ćwikłowego wniosło do pieczywa nie tylko specjalny rodzaj substancji polifenolowych w postaci barwników betalainowych, ale także inne związki o charakterze prozdrowotnym. W związku z tym przeprowadzono badania zawartości polifenoli oraz aktywności przeciwutleniającej. Wyniki tych badań przedstawiono w tabelach 46 i 47.

Tabela 46. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca skórki badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/ 100 g ś.m. skórki]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/100 g ś.m. skórki]	
					metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH [·]
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,77	21,96	18,61 ^a ±0,45	301,63 ^a ±9,27	43,77 ^a ±2,79
Z udziałem soku	25%	33,00	22,16	51,62 ^{d,e} ±2,50	368,79 ^c ±7,06	54,20 ^c ±3,45
	50%	32,62	21,30	79,45 ^{g,h} ±3,80	900,27 ⁱ ±27,86	65,06 ^d ±1,62
	75%	33,02	20,18	77,80 ^g ±1,13	694,23 ^g ±16,69	70,57 ^e ±1,89
	100%	33,25	20,53	88,76 ⁱ ±1,16	890,73 ⁱ ±16,59	71,79 ^{e,f} ±1,42
Z udziałem wytlóków	2,5%	31,88	22,54	46,60 ^b ±1,93	308,35 ^{a,b} ±12,42	44,84 ^a ±0,39
	5%	31,48	21,66	48,54 ^{b,c} ±1,40	335,36 ^{a,b} ±11,97	43,28 ^a ±1,38
	7,5%	31,69	22,80	51,07 ^{c,d} ±1,17	349,56 ^{b,c} ±37,85	44,25 ^a ±1,02
	10%	30,65	23,11	54,62 ^{d,e} ±0,97	591,47 ^e ±71,92	50,37 ^b ±1,91
Z udziałem proszku	2,5%	32,34	21,77	55,18 ^e ±3,03	335,83 ^{a,b,c} ±3,50	41,14 ^a ±0,40
	5%	32,32	21,65	70,87 ^f ±3,45	515,94 ^d ±3,07	41,46 ^a ±1,29
	7,5%	32,38	22,20	83,81 ^h ±4,43	601,27 ^f ±6,13	72,63 ^e ±1,21
	10%	32,77	21,15	105,14 ^j ±2,90	769,09 ^h ±4,69	75,69 ^f ±0,61
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka.

Tabela 47. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca miąższu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa miąższu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miąższu [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/100 g ś.m. miąższu]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/100 g ś.m. miąższu]	
					metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH ⁺
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,06	43,93	9,54 ^a ± 0,84	102,72 ^a ± 3,46	16,64 ^a ± 1,24
Z udziałem soku	25%	187,02	44,33	30,79 ^e ± 1,36	195,10 ^{b,c} ± 12,94	18,82 ^{a,b} ± 1,74
	50%	184,86	42,59	40,71 ^f ± 1,84	308,11 ^f ± 5,99	22,18 ^{c,d} ± 4,28
	75%	187,09	40,36	43,36 ^g ± 1,91	356,76 ^g ± 4,66	27,61 ^e ± 0,71
	100%	188,44	41,05	53,49 ^h ± 1,14	576,37 ⁱ ± 9,70	33,70 ^f ± 0,47
Z udziałem wyłoków	2,5%	180,67	45,08	25,14 ^{b,c} ± 0,91	215,95 ^c ± 16,99	17,10 ^a ± 0,42
	5%	178,41	43,32	23,46 ^b ± 1,20	190,46 ^b ± 28,23	17,95 ^a ± 0,72
	7,5%	179,60	45,60	27,00 ^{c,d} ± 1,21	269,09 ^e ± 12,70	21,54 ^{b,c} ± 1,13
	10%	173,66	46,22	29,83 ^d ± 0,46	277,71 ^e ± 24,03	25,92 ^d ± 0,69
Z udziałem proszku	2,5%	183,26	43,55	31,25 ^e ± 2,67	238,19 ^d ± 6,68	32,39 ^f ± 1,10
	5%	183,15	43,30	45,72 ^g ± 2,98	311,02 ^f ± 3,82	38,74 ^g ± 2,89
	7,5%	183,46	44,39	55,46 ^h ± 0,65	381,34 ^g ± 10,77	51,02 ^h ± 0,60
	10%	185,67	42,30	60,20 ⁱ ± 1,40	478,73 ^h ± 7,28	59,37 ⁱ ± 1,24
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miąższ stanowił 85% średniej masy bochenka.

Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca skórki (tabela 46) oraz miąższu (tabela 47) była istotnie zróżnicowana. W obrębie każdego rodzaju dodatku buraczanego obserwowano zwiększenie zawartości substancji biologicznie aktywnych w skórcie lub miąższu w miarę zwiększenia udziału produktu buraczanego, co potwierdzał także układ skupień i korelacji na mapach ciepła (wykres 65, 67, załącznik 19). W przypadku zawartości polifenoli ogółem było to średnio o 20 mg GAE/100 g ś.m. miąższu lub skórki, a dla aktywności przeciwutleniającej od 10 do nawet 100 μmoli Troloxu/100 g ś.m. miąższu lub skórki w zależności od badanego wariantu. Największą koncentracją polifenoli ogółem charakteryzowały się chleby z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego, dla których zanotowano wartości: 60,20 mg GAE/100 g ś.m. miąższu i 105 mg GAE/100 g ś.m. skórki. Były to 6-krotnie większe wartości w stosunku do odpowiadającym im wartościami dla miąższu lub skórki chleba kontrolnego. Ten rodzaj dodatku wzbogacającego spowodował także uzyskanie największej spośród wszystkich prób badanych aktywności przeciwutleniającej względem rodników ABTS* i DPPH*. Porównywalne wartości zanotowali także Bouazizi i in. (2020)

w badaniach chlebów z ekstraktami z wyłoków warzywnych oraz Raczyk i in. (2022) w badaniach chlebów pszennych z udziałem m.in. soku buraczanego.

4.2.2. Chleby pszenno-żytnie wzbogacone dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

W tabeli 48 zamieszczono średnie wartości parametrów procesu wypiekowego badanego pieczywa pszenno-żytniego z udziałem soku, wyłoków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego. Na fotografiach 7-12 (załącznik 14) przedstawiono wygląd bochenków i miękiszu badanych chlebów pszenno-żytnich.

Tabela 48. Parametry procesu wypiekowego badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Wydajność ciasta [%]	Upiek [%]	Wydajność pieczywa [%]
Próba kontrolna (bez dodatków)		139,60 ^a ±0,46	10,13 ^{d,e} ±0,25	117,66 ^a ±0,06
Z udziałem soku	25%	139,93 ^{a,b} ±0,25	10,52 ^e ±0,40	118,73 ^b ±0,67
	50%	140,33 ^{b,c,d} ±0,15	10,10 ^{d,e} ±0,35	120,13 ^{c,d} ±0,63
	75%	140,77 ^d ±0,15	8,61 ^a ±0,27	122,52 ^f ±0,17
	100%	140,53 ^{c,d} ±0,35	9,96 ^{c,d,e} ±0,34	121,57 ^e ±0,39
Z udziałem wyłoków	2,5%	143,20 ^g ±0,10	9,70 ^{c,d} ±0,31	121,48 ^e ±0,60
	5%	140,13 ^{b,c} ±0,21	9,99 ^{c,d,e} ±0,04	119,79 ^c ±0,09
	7,5%	142,47 ^f ±0,21	9,42 ^{b,c} ±0,78	121,87 ^e ±0,19
	10%	143,73 ^h ±0,21	9,99 ^{c,d,e} ±0,34	121,84 ^e ±0,33
Z udziałem proszku	2,5%	141,53 ^e ±0,32	9,37 ^{b,c} ±0,12	120,51 ^d ±0,45
	5%	145,27 ⁱ ±0,06	9,90 ^{c,d,e} ±0,47	124,02 ^g ±0,13
	7,5%	149,53 ^j ±0,15	8,94 ^{a,b} ±0,26	128,94 ^h ±0,61
	10%	153,23 ^k ±0,15	9,69 ^{c,d} ±0,10	131,68 ⁱ ±0,15
Dwuczynnikowa ANOVA-p				
czynnik 1		< 0,001	0,092	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..k – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Wydajność ciasta była istotnie zróżnicowana pod wpływem rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w recepturze chleba, a wyniki były w zakresie od 139,93 do 153,23%. Próba kontrolna pieczywa z mieszanki pszenno-żytniej i z 25% udziałem soku uzyskały najmniejszą wydajność ciasta (139,60 i 139,93%). Chleby badane natomiast wyróżniały się większą – średnio o 2-10% – wartością omawianego parametru (tabela 48).

Upiek badanych chlebów pszenno-żytnich był istotnie zróżnicowany. W przypadku próby kontrolnej uzyskano wynik równy 10,13% i był on jednym z największych upieków odnotowanych w badaniach tego rodzaju pieczywa (tabela 48). Duży upiek wykazały także chleby z 25 i 50% udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego (10,52; 10,10%). Najmniejszym

upiekiem odróżniał się wariant badany uzyskany z mieszanki mąki z 75% zastąpieniem wody sokiem. Większą stratę spowodowaną wypiekiem uzyskali Tolve i in. (2021), gdyż w badaniach chlebów pszennych z udziałem proszku z wyłoków winogronowych otrzymali wartości bliskie 15%.

Wydajność badanego pieczywa mieściła się w granicach od 118,73 do 131,68%. Największe wartości tego parametru zanotowano w badaniach chleba z 7,5 i 10% udziałem proszku buraczanego, co potwierdziła mapa ciepła (wykres 61, załącznik 19). Wyniki te były o 10% większe w porównaniu z wynikami uzyskanymi w badaniach próby kontrolnej (117,66%).

Ocena jakości badanego pieczywa dotyczyła również parametrów fizykochemicznych. Wyniki badań chlebów pszenno-żytnich w tym zakresie przedstawiono w tabeli 49.

Tabela 49. Parametry fizykochemiczne badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa bochenka [g]	Objętość właściwa [cm ³ /g]	Objętość pieczywa [cm ³ /100g pieczywa]	Wilgotność miększu pieczywa [%]	Kwasowość pieczywa [stopnie kwasowości]	Współczynnik porowatości Dallmana
Próba kontrolna (bez dodatków)		212,32 ^b ±0,46	2,47 ^f ±0,03	247 ^f ±3	45,62 ^e ±0,58	1,42 ^a ±0,03	100 ^d ±0
Z udziałem soku	25%	212,59 ^b ±2,09	2,39 ^{e,f} ±0,05	239 ^{e,f} ±5	43,60 ^{b,c} ±0,22	1,72 ^{d,e} ±0,09	90 ^c ±3
	50%	214,41 ^{b,c} ±1,13	2,38 ^{e,f} ±0,02	238 ^{e,f} ±2	43,06 ^{b,c} ±0,26	1,83 ^{e,f} ±0,04	90 ^c ±5
	75%	219,60 ^d ±1,17	2,01 ^b ±0,02	201 ^b ±2	42,43 ^{a,b} ±0,62	1,90 ^f ±0,14	70 ^a ±0
	100%	217,99 ^{c,d} ±1,84	2,03 ^b ±0,08	203 ^b ±8	41,29 ^a ±0,11	1,94 ^f ±0,01	70 ^a ±0
Z udziałem wytlóków	2,5%	212,86 ^b ±1,24	2,35 ^{e,f} ±0,01	235 ^{e,f} ±1	45,12 ^{d,e} ±0,33	1,59 ^{b,c,d} ±0,10	100 ^d ±0
	5%	212,63 ^b ±0,70	2,16 ^{b,c,d} ±0,16	216 ^{b,c,d} ±16	43,98 ^{c,d} ±0,90	1,46 ^{a,b} ±0,06	100 ^d ±0
	7,5%	211,91 ^b ±3,71	2,12 ^{b,c} ±0,17	212 ^{b,c} ±17	43,24 ^{b,c} ±1,70	1,54 ^{a,b,c} ±0,04	100 ^d ±1
	10%	207,14 ^a ±8,24	2,26 ^{c,d,e} ±0,02	226 ^{c,d,e} ±2	44,36 ^{c,d,e} ±0,57	1,57 ^{b,c} ±0,13	100 ^d ±0
Z udziałem proszku	2,5%	213,52 ^{b,c} ±0,94	2,32 ^{d,e,f} ±0,19	232 ^{d,e,f} ±19	43,62 ^{b,c} ±1,53	1,63 ^{c,d} ±0,05	90 ^c ±0
	5%	213,52 ^{b,c} ±0,14	2,18 ^{b,c,d} ±0,12	218 ^{b,c,d} ±12	43,19 ^{b,c} ±0,19	1,63 ^{c,d} ±0,13	90 ^c ±0
	7,5%	216,44 ^{b,c,d} ±1,05	1,70 ^a ±0,10	170 ^a ±10	43,13 ^{b,c} ±0,09	1,48 ^{a,b} ±0,03	80 ^b ±6
	10%	215,17 ^{b,c,d} ±0,60	1,68 ^a ±0,05	168 ^a ±5	43,45 ^{b,c} ±0,13	1,46 ^{a,b} ±0,06	80 ^b ±6
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		0,050	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Przeprowadzona analiza statystyczna wyników badań wyróżników fizyko-chemicznych chleba pszenno-żytniego wykazała istotny wpływ zarówno rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego, jak i wielkości udziału w recepturze chleba (tabela 49). Masa chleba kontrolnego wynosiła 212,32 g, a zastosowanie dodatku soku i proszku buraczanego skutkowało zwiększeniem masy uzyskanego chleba. Natomiast, chleby z wytlókami wykazały najmniejszą masę (207,14 g) – dla największego (10%) udziału wymienionego dodatku w recepturze chleba.

W badaniach chleba kontrolnego (tabela 49) uzyskano objętość 247 cm³/100 g pieczywa. W przypadku chlebów wzbogaconych sokiem i proszkiem buraczanym w miarę zwiększenia wielkości ich udziału otrzymywano chleby o mniejszej objętości (maksymalnie o 60 cm³/100 g pieczywa). Zaobserwowane zmiany mogły być spowodowane interakcjami pomiędzy związkami zawartymi w korzeniu buraka ćwikłowego oraz białkami glutenowymi mieszanki lub ich mocnej rywalizacji o wchłonięcie płynu dodanego do ciasta. Skutkiem tego było zbyt małe pęcznienie białek glutenowych, co w konsekwencji dało małą objętość bochenka. Raczyk i in. (2022) w badaniach pieczywa pszennego z udziałem m.in. soku buraczanego zaobserwowali odwrotną zależność. Największą objętość uzyskali w badaniach chleba z 50% udziałem soku (285 cm³/100 g pieczywa).

Wilgotność miękkiszu badanego pieczywa pszenno-żytniego (tabela 49) była w zakresie od 41,29 do 45,62%. Parametr ten był zależny od rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego oraz wielkości jego udziału. Chleby wzbogacone miały o 1-4% mniejszą wilgotność miękkiszu niż próba kontrolna (45,62%). W obrębie dodatku soku buraczanego zanotowano najbardziej zróżnicowane wyniki. W miarę stopniowego zwiększenia wielkości udziału wilgotność miękkiszu prób z tym dodatkiem ulegała zmniejszeniu. Miało to także odzwierciedlenie na mapie ciepła (wykres 62, załącznik 19), na której próby z udziałem soku znalazły się w osobnej grupie skupień niż próba kontrolna. Na tym samym poziomie wartości co w badaniach własnych (tabela 49) wyniki uzyskali Raczyk i in. (2022) w badaniach chlebów pszennych z udziałem soków warzywnych.

Badane pieczywo pszenno-żytnie wykazało kwasowość nie przekraczającą 2 stopni kwasowości (tabela 49). Istotny wpływ na ten parametr miał rodzaj dodatku z korzenia buraka ćwikłowego oraz wielkość jego udziału w recepturze chleba. W przypadku pieczywa z proszkiem buraczanym wzrost wielkości udziału tego dodatku powodował zmniejszenie kwasowości. Z kolei stopniowe zastępowanie sokiem ilości wody przewidzianej w recepturze powodowało zwiększenia kwasowości wyrobu gotowego. Podobne wartości parametrów fizykochemicznych uzyskane w badaniach chlebów (tabela 49) otrzymali m.in. Zięć i in. (2013) i Baiano i in. (2015).

Porowatość miękkiszu badanych chlebów pszenno-żytnich z dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego była istotnie zróżnicowana w porównaniu z chlebem bez dodatków (tabela 49; fotografie 10-12, załącznik 14). Najmniejszy współczynnik porowatości (70) zanotowano w ocenie jakości miękkiszu chlebów z 75 i 100% udziałem soku ze względu na nieregularność porów miękkiszu. Miękkisz chleba kontrolnego oraz chlebów z udziałem wytlóków we wszystkich badanych udziałach dodatku uzyskały największy współczynnik porowatości (100) świadczący o wzorcowej, drobnej i równomiernej porowatości. Pozostałe próby badane uzyskały

współczynniki porowatości na poziomie 80 lub 90 wskazujące na występowanie w strukturze miększu nielicznych porów o większej bądź mniejszej wielkości niż pozostałe.

Badane chleby pszenno-żytnie z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego poddano pomiarom parametrów tekstury miększu (test TPA), a wyniki przedstawiono w tabeli 50.

Tabela 50. Parametry tekstury miększu (test TPA) badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Twardość [N]	Sprężystość [–]	Żujność [N]	Spoistość (kohezynność) [–]
Próba kontrolna (bez dodatków)		3,85 ^a ± 1,02	0,70 ^f ± 0,03	1,82 ^{a,b} ± 0,63	0,66 ^e ± 0,04
Z udziałem soku	25%	5,04 ^a ± 0,81	0,65 ^{e,f} ± 0,06	2,03 ^{a,b} ± 0,28	0,62 ^{d,e} ± 0,02
	50%	6,18 ^{a,b} ± 2,65	0,62 ^{d,e} ± 0,04	2,28 ^{a,b} ± 1,00	0,59 ^{c,d} ± 0,05
	75%	7,45 ^{a,b,c} ± 0,66	0,55 ^{a,b,c} ± 0,02	2,40 ^{a,b} ± 0,34	0,58 ^{c,d} ± 0,02
	100%	11,71 ^{c,d} ± 2,65	0,51 ^{a,b} ± 0,02	3,34 ^{b,c} ± 0,68	0,56 ^{b,c} ± 0,01
Z udziałem wytłoków	2,5%	10,55 ^{b,c,d} ± 2,25	0,69 ^f ± 0,03	3,96 ^{c,d} ± 0,78	0,54 ^{b,c} ± 0,05
	5%	17,63 ^{e,f} ± 3,18	0,57 ^{b,c,d} ± 0,01	4,85 ^{c,d,e,f} ± 1,01	0,48 ^a ± 0,03
	7,5%	15,16 ^{d,e} ± 3,10	0,57 ^{b,c,d} ± 0,03	4,39 ^{c,d,e} ± 0,68	0,51 ^{a,b} ± 0,01
	10%	13,97 ^{d,e} ± 3,52	0,56 ^{b,c,d} ± 0,03	4,29 ^{c,d,e} ± 1,28	0,54 ^{b,c} ± 0,01
Z udziałem proszku	2,5%	13,76 ^{d,e} ± 2,30	0,66 ^{e,f} ± 0,01	4,99 ^{d,e,f} ± 0,69	0,55 ^{b,c} ± 0,02
	5%	21,43 ^f ± 3,93	0,53 ^{a,b,c} ± 0,01	6,27 ^f ± 1,25	0,55 ^{b,c} ± 0,01
	7,5%	12,58 ^{c,d,e} ± 2,52	0,58 ^{c,d} ± 0,02	4,17 ^{c,d,e} ± 0,94	0,57 ^c ± 0,03
	10%	21,57 ^f ± 6,43	0,49 ^a ± 0,07	5,64 ^{e,f} ± 0,68	0,55 ^{b,c} ± 0,03
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	0,107	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	0,073	< 0,001	< 0,001

a..g – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Twardość miększu badanych chlebów pszenno-żytnich była istotnie zróżnicowana pod względem rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w recepturze badanego pieczywa. Zwiększenie udziału procentowego dodatków spowodowało wzrost wartości omawianego parametru. Miększ próby kontrolnej wykazał twardość wynoszącą średnio 3,85 N, natomiast w przypadku prób badanych o maksymalnym założonym poziomie udziału procentowego dodatków zanotowano większe wartości: dla soku – o 8 N, dla wytłoków – o 10 N, a dla proszku – nawet o 18 N. Potwierdził to układ skupień na mapie ciepła (wykres 63, załącznik 19), na której próby z udziałem proszku buraczanego znalazły się w osobnej grupie skupień niż próba kontrolna. W badaniach Kampuse i in. (2015) odnotowano podobną twardość miększu chlebów pszennych z wytłokami i proszkiem z dyni, jaką stwierdzono w omawianych badaniach własnych (tabela 50).

W badaniach sprężystości miękiszu chlebów pszenno-żytnich (tabela 50) zaobserwowano zależność, na którą istotny wpływ miała jedynie wielkość udziału zastosowanego dodatku w recepturze. W obrębie każdego dodatku buraczanego zwiększenie jego udziału spowodowało zmniejszenie sprężystości miękiszu (średnio o 20 jednostek).

W przypadku żujności miękiszu badanego rodzaju pieczywa zanotowano istotny wpływ rodzaju dodatku buraczanego, jak i wielkości jego udziału w recepturze. Stwierdzono, że chleby o większej żujności miękiszu (od 1 do 2 N większe od próby kontrolnej), wykazały także większą twardość miękiszu. Natomiast Raczyk i in. (2022) w badaniach chlebów pszennych z udziałem soków warzywnych uzyskali żujność miękiszu maksymalnie dwukrotnie większą od zanotowanej w badaniach własnych (tabela 50).

Porównanie spoistości miękiszu badanych chlebów pszenno-żytnich potwierdziło istotny wpływ rodzaju dodatku na uzyskaną wartość omawianego parametru. W obrębie każdego rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego zwiększenie wielkości jego udziału w cieście skutkowało zmniejszeniem spoistości miękiszu uzyskanego chleba. Najmniejszą spoistością miękiszu charakteryzował się chleb z 5% udziałem wytlóków (0,48), a największą – chleb kontrolny (0,66). Pozostałe próby badane uzyskały spoistość miękiszu w granicach od 0,54 do 0,59. Różyło i in. (2009) oraz Zięc i in. (2013) zanotowali podobne wartości zanotowali podobne wartości do uzyskanych w badaniach własnych dla miękiszu chlebów wzbogaconych i chleba kontrolnego (tabela 50).

Ocena jakościowa chlebów pszenno-żytnich uwzględniła również pomiary instrumentalne barwy skórki (tabela 51) i miękiszu (tabela 52). Zobrazowanie barwy skórki i miękiszu badanych chlebów przedstawiono na fotografiach 13-18 w załączniku 14.

Tabela 51. Parametry barwy skórki chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		L	a*	b*	ΔE^*
Próba kontrolna (bez dodatków)		57,17 ^f ± 3,45	12,84 ^a ± 2,64	33,56 ^g ± 1,48	–
Z udziałem soku	25%	42,33 ^{c,d} ± 2,00	20,17 ^{b,c} ± 1,79	22,95 ^{e,f} ± 0,97	17,15 ^{c,d,e} ± 1,39
	50%	36,56 ^{a,b} ± 2,84	20,36 ^{b,c} ± 2,33	19,92 ^{b,c,d,e} ± 3,80	23,37 ^{f,g} ± 3,63
	75%	34,36 ^{a,b} ± 2,19	20,84 ^c ± 2,89	15,86 ^{a,b} ± 2,73	27,49 ^{g,h} ± 2,59
	100%	31,88 ^a ± 2,43	18,66 ^{b,c} ± 4,14	14,24 ^a ± 4,23	30,01 ^h ± 3,84
Z udziałem wytlóków	2,5%	51,67 ^e ± 2,07	16,89 ^b ± 0,82	30,50 ^g ± 0,66	5,10 ^a ± 1,86
	5%	49,73 ^e ± 3,72	18,50 ^{b,c} ± 0,82	30,05 ^g ± 2,62	7,76 ^{a,b} ± 3,89
	7,5%	47,17 ^{d,e} ± 3,73	19,93 ^{b,c} ± 0,51	25,84 ^f ± 1,99	12,05 ^{b,c} ± 3,78
	10%	42,58 ^{c,d} ± 3,76	20,89 ^c ± 1,27	22,15 ^{d,e,f} ± 1,73	17,76 ^{d,e} ± 3,18
Z udziałem proszku	2,5%	43,65 ^{c,d} ± 2,57	18,11 ^{b,c} ± 0,06	25,86 ^f ± 1,81	13,77 ^{c,d} ± 2,93
	5%	39,58 ^{b,c} ± 0,19	16,62 ^b ± 1,33	20,62 ^{c,d,e} ± 2,58	19,63 ^{e,f} ± 1,53
	7,5%	35,82 ^{a,b} ± 1,18	19,06 ^{b,c} ± 0,87	18,63 ^{b,c,d} ± 0,52	24,15 ^{f,g} ± 0,92
	10%	35,32 ^{a,b} ± 2,90	17,13 ^{b,c} ± 1,72	16,80 ^{a,b,c} ± 2,99	25,33 ^{g,h} ± 3,82
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	0,067	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	0,368	< 0,001	< 0,001

a..h – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Jasność skórki badanych chlebów pszenno-żytnich (tabela 51) ulegała istotnemu zmniejszeniu pod wpływem zwiększenia udziału każdego rodzaju dodatku buraczanego. Parametr L prób badanych był od 6 do 28 jednostek mniejszy w porównaniu z próbą kontrolną (57,17). Parametry chromatyczności obrazują kształtowanie się barwy produktu w układzie współrzędnych. W ocenie barwy skórki chlebów pszenno-żytnich zaobserwowano większy udział barwy czerwonej niż barwy żółtej. Świadczyły o tym duże wartości parametru a* (zwłaszcza dla prób z sokiem lub proszkiem), na które istotny wpływ miała tylko wielkość udziału dodatku buraczanego w recepturze chleba. W przypadku parametru b* istotne różnice w uzyskanych wartościach spowodował rodzaj dodatku wzbogacającego, ale także wielkość jego udziału w recepturze chleba. Warto zauważyć, że w badaniach skórki chlebów z udziałem soku lub proszku buraczanego zanotowano znaczne zmniejszenie wartości (maksymalnie o 15 jednostek) parametru b* pod wpływem zwiększania udziału dodatku w cieście. Bezwzględna różnica barwy (ΔE^*) skórki chlebów pszenno-żytnich, zmieniała się istotnie w zależności od rodzaju dodatku oraz jego procentowego udziału w pieczywie. Wszystkie wartości ΔE^* wskazały, iż barwa skórki chlebów z dodatkami była różna od barwy skórki chleba kontrolnego. Podobny wpływ na barwę skórki pieczywa zanotowali także Abu El-Maaty i in. (2016) w badaniach chlebów pszennych

z udziałem proszku grzybowego lub z wyłoków buraczanych oraz Tolve i in (2021) w badaniach pieczywa z udziałem proszku z wyłoków winogronowych.

Tabela 52. Parametry barwy miększu chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

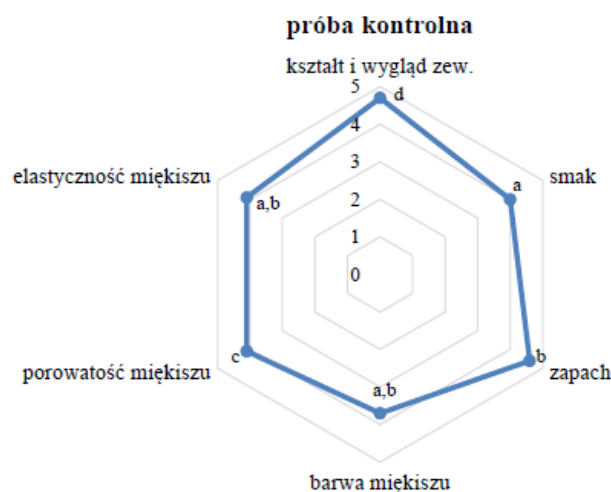
Badane pieczywo		L	a*	b*	ΔE^*
Próba kontrolna (bez dodatków)		64,53 ^g ± 0,80	2,10 ^a ± 0,20	18,29 ^a ± 0,31	–
Z udziałem soku	25%	54,39 ^e ± 0,62	7,28 ^e ± 0,19	29,70 ^h ± 0,37	15,67 ^{c,d} ± 0,70
	50%	46,29 ^c ± 1,92	13,14 ^g ± 0,30	26,62 ^{f,g} ± 0,64	22,55 ^e ± 1,43
	75%	43,22 ^b ± 1,30	18,44 ^j ± 0,27	22,88 ^d ± 0,04	26,94 ^f ± 0,88
	100%	39,35 ^a ± 1,27	19,15 ^j ± 0,46	20,41 ^{b,c} ± 0,60	30,22 ^g ± 1,18
Z udziałem wyłoków	2,5%	60,30 ^f ± 1,78	3,44 ^b ± 0,13	26,02 ^{e,f} ± 0,13	12,31 ^{a,b} ± 2,39
	5%	58,57 ^f ± 0,40	4,86 ^c ± 0,81	26,74 ^{f,g} ± 0,57	10,28 ^a ± 0,34
	7,5%	54,01 ^e ± 0,29	5,39 ^{c,d} ± 0,29	27,68 ^g ± 0,46	14,07 ^{b,c} ± 0,20
	10%	50,24 ^d ± 1,65	8,20 ^e ± 1,45	27,23 ^g ± 0,29	17,56 ^d ± 1,94
Z udziałem proszku	2,5%	55,78 ^e ± 1,79	6,14 ^d ± 0,94	25,15 ^e ± 0,06	11,46 ^{a,b} ± 1,58
	5%	48,45 ^d ± 1,02	11,46 ^f ± 1,45	22,20 ^d ± 1,85	16,41 ^{c,d} ± 5,09
	7,5%	42,11 ^b ± 0,61	15,50 ^h ± 0,20	21,10 ^c ± 0,55	25,99 ^f ± 0,43
	10%	37,90 ^a ± 0,48	16,73 ⁱ ± 0,23	19,67 ^b ± 0,30	30,16 ^g ± 0,51
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj formy dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – procentowa ilość zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem formy dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a jego procentową ilością w cieście przy $p \leq 0,05$.

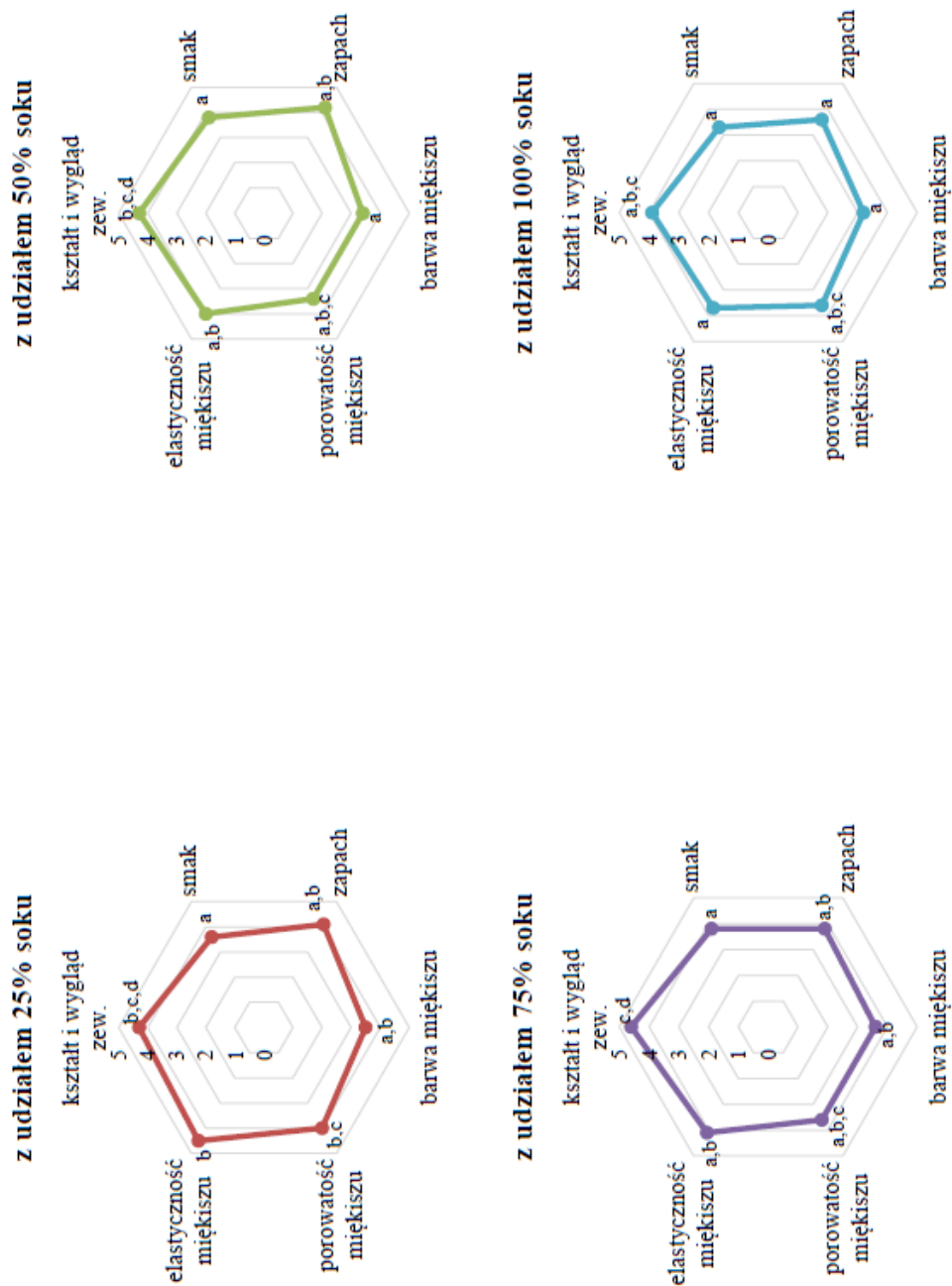
W związku z wzbogaceniem badanego pieczywa w dodatki o ciemnej barwie ich rodzaj i wielkość udziału miały istotne znaczenie w kształtowaniu barwy miększu chlebów pszenno-żytnich (tabela 52). Jasność miększu próby bez dodatków wyniosła średnio 64,53, podczas gdy udział dodatków na bazie buraka ćwikłowego spowodował wyraźne pociemnienie miększu. Barwa miększu chlebów pod wpływem zwiększenia udziału dodatków z korzenia buraka ćwikłowego zmieniała się od żółtej w kierunku większego udziału barwy czerwonej, co potwierdziło porównanie wartości parametru a^* i zmniejszające się wartości dla parametru b^* . Wyjątkiem były chleby z udziałem wyłoków, dla których zanotowano przewagę udziału barwy żółtej nad czerwoną ($a^* = 3,44-8,20$; $b^* = 26,02-27,23$) w barwie miększu. Największą bezwzględną różnicę barwy (ΔE^*) miększu pomiędzy próbą kontrolną, a badanymi wykazały warianty z udziałem soku (15,67-30,22), natomiast najmniejszą warianty z wyłokami (10,28-17,56). Dla wszystkich prób badanych była ona jednak większa od 5, co świadczyło o tym, że zmiany w barwie miększów były zauważalne dla ludzkiego oka i wskazywały, iż barwa miększu próby kontrolnej i miększów chlebów wzbogaconych dodatkami buraczanymi były różne. Podobne wartości jasności [L] i parametru b^* zanotowali Baiano i in. (2015) w badaniach

chlebów z udziałem ekstraktów z wyłoków warzywnych. Jedynie uzyskane w badaniach własnych (tabela 52) wyniki dla parametru a^* były większe od uzyskanych przez cytowanych autorów. Zależność zmniejszenia jasności i zmiany barwy w kierunku składowej czerwonej zaobserwowali Kumar i in. (2011) w badaniach barwy ciastek z wyłokami z marchwi oraz Tolve i in. (2021) dla chleba pszennego z udziałem suszonych wyłoków winogronowych.

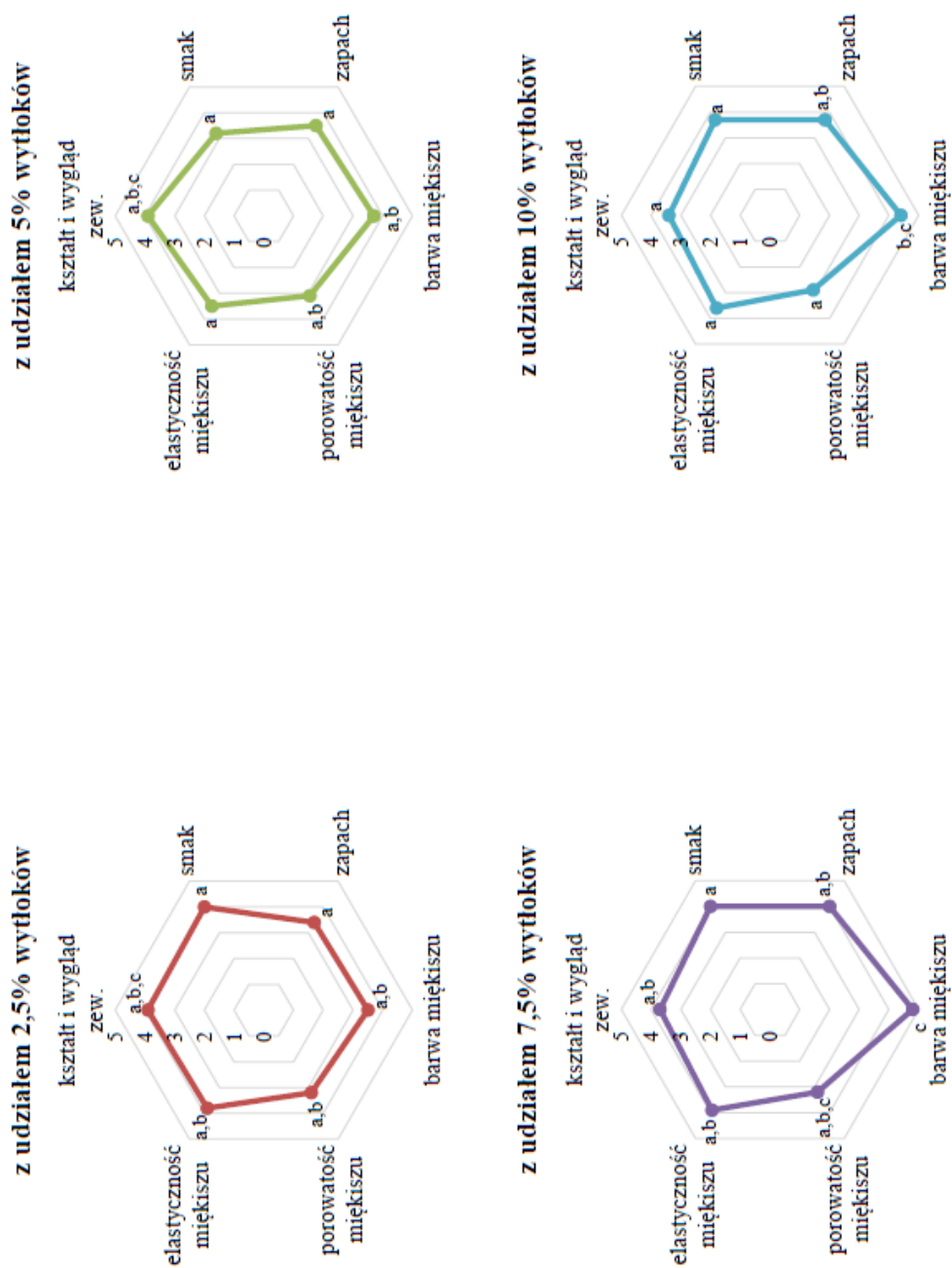
Kolejnym etapem badań jakości była ocena organoleptyczna i konsumencka, której wyniki przedstawiono na wykresach 2a-2d (ocena organoleptyczna) i 2e-2h (ocena konsumencka).



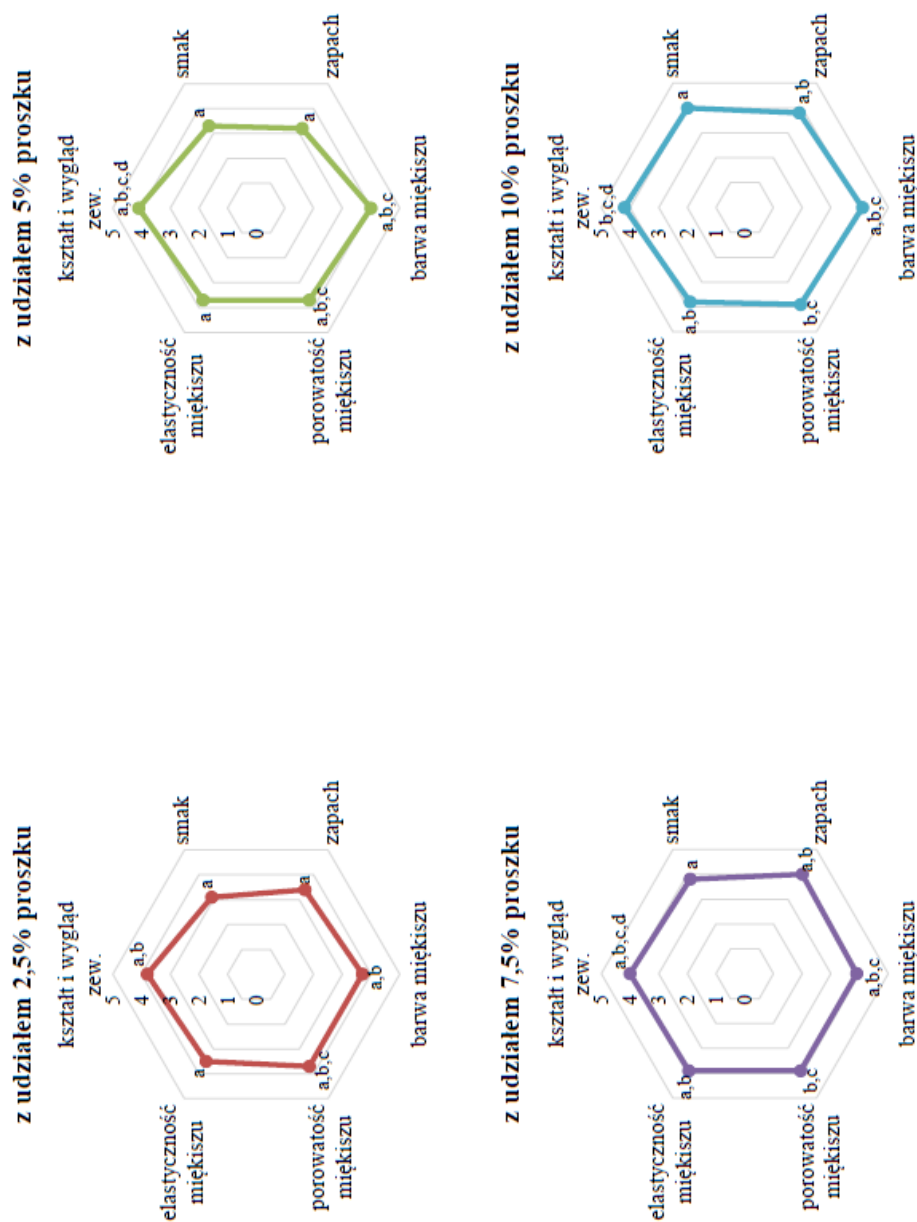
Wykres 2a. Wyniki oceny organoleptycznej chleba pszenno-żytniego – próba kontrolna



Wykres 2b. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego



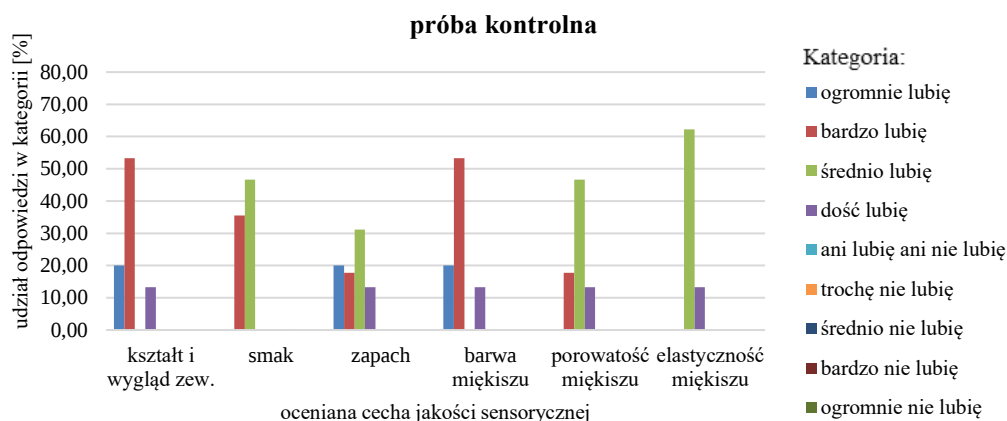
Wykres 2c. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych wyciąkami z korzenia buraka ćwikłowego



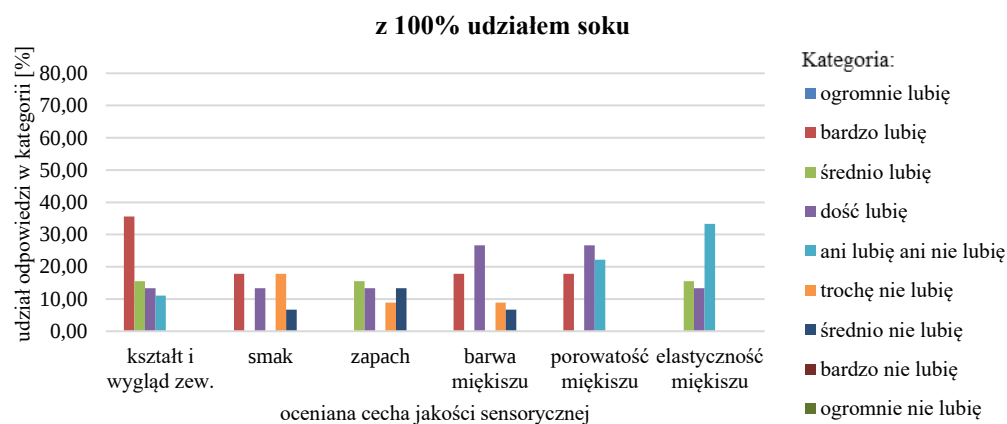
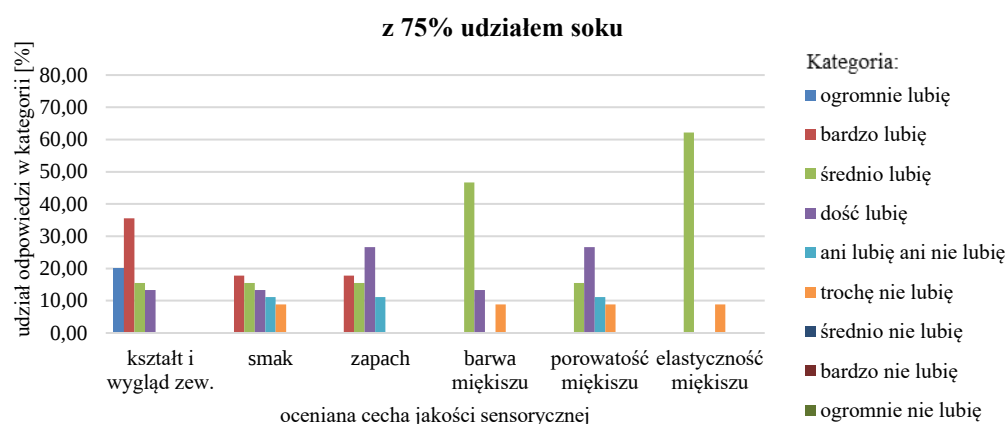
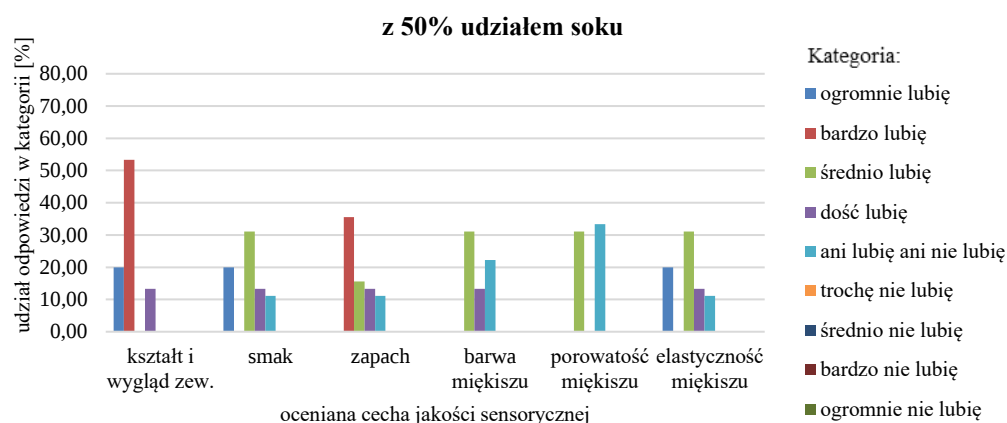
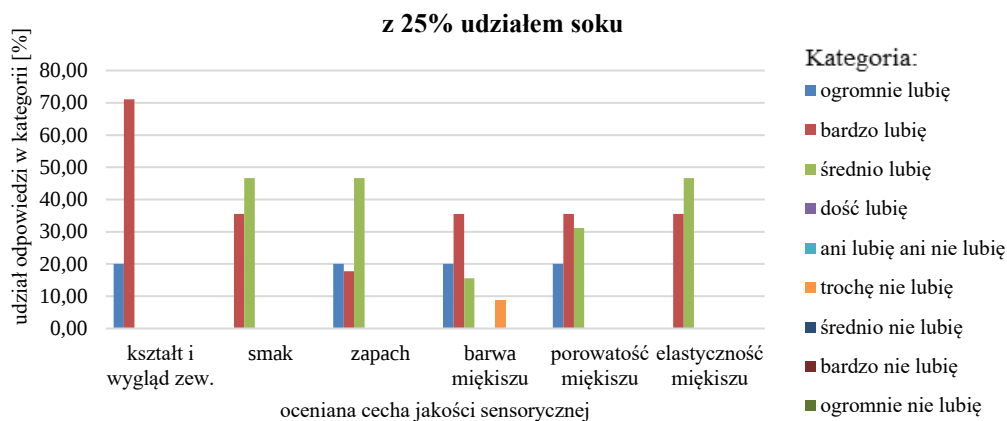
Wykres 2d. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego

a..d – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$;

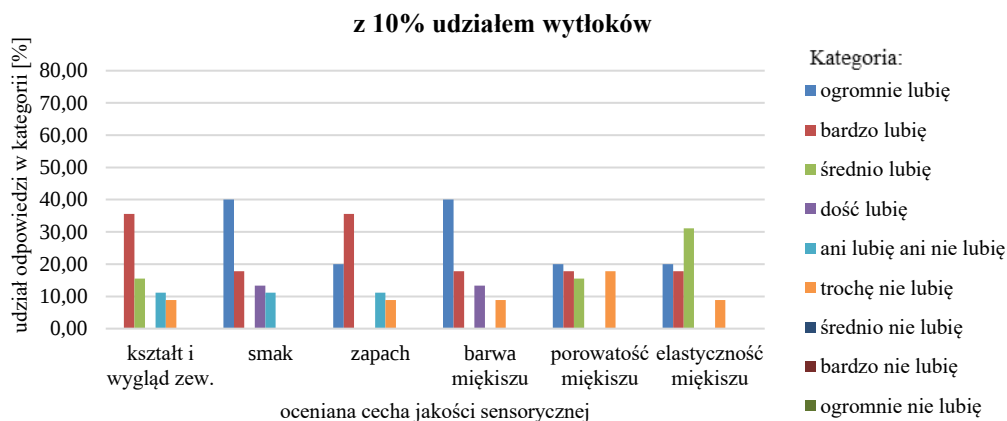
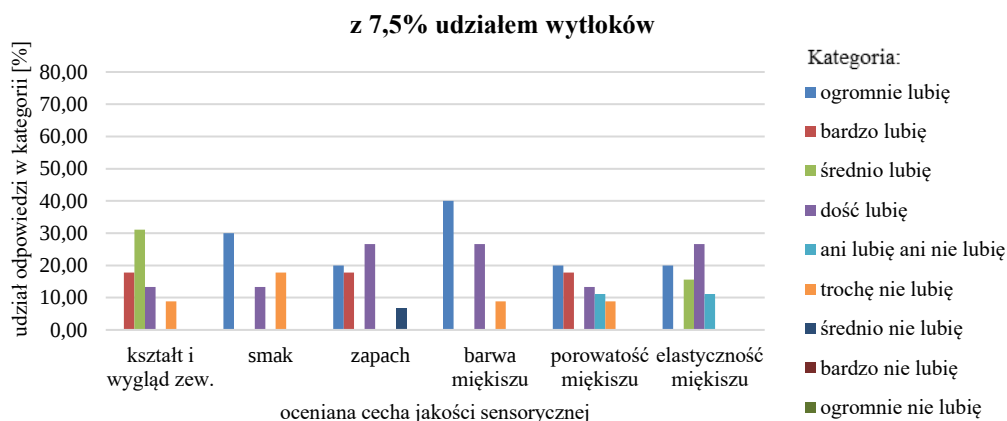
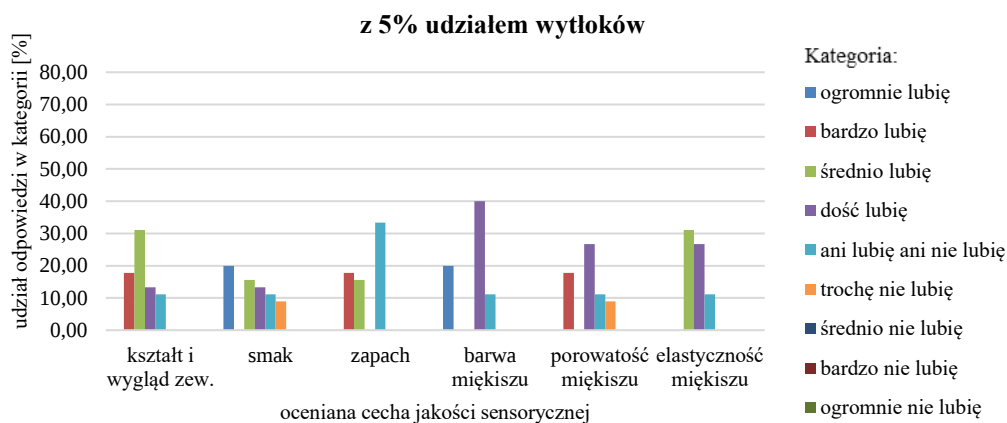
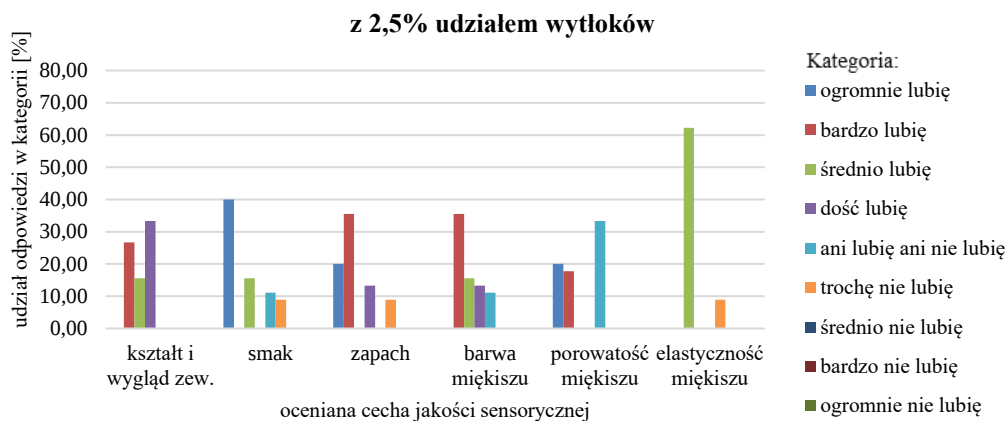
Wyniki oceny organoleptycznej (wykresy 2a – 2d) badanych chlebów pszenno-żytnich potwierdziły ich dobrą jakość. Większość badanych wariantów otrzymała oceny bliskie 4,0 punktom. Na ocenę kształtu i wyglądu zewnętrznego istotny wpływ miały zarówno rodzaj dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i wielkość udziału dodatku w recepturze pieczywa. Największą ocenę omawianego wyróżnika uzyskały chleb bez dodatków (4,7 punkty) oraz chleb z 75% udziałem soku (4,6 punkty). W ocenie smaku i zapachu badanego pieczywa istotne różnice były powodowane rodzajem i wielkością udziału dodatku buraczanego. W ocenie ankietowanych najlepszy pod względem tych wyróżników był chleb bez dodatków, ale także warianty z 25 i 50% udziałem soku buraczanego. Barwa, porowatość i elastyczność miękkiszu uzyskała zróżnicowane oceny, od rodzaju zastosowanego dodatku buraczanego oraz wielkości jego udziału w ocenianym chlebie wzbogaconym. Respondenci dla tych cech przyznawali oceny mieszczące się w granicach od 3,0 do 4,8 punktów. Zanotowane niskie oceny dla cech miękkiszu (barwa, porowatość, elastyczność) prób badanych z wysokim udziałem produktów buraczanych prawdopodobnie wynikały ze specyfiki tych dodatków wzbogacających, zwłaszcza ich składu chemicznego. Znacznie wyższe (bliskie 5,0 punktom) oceny uzyskali Kampuse i in. (2015) dla własnych chlebów z proszkiem i wyłokami z dyni oraz Raczyk i in. (2022) dla pieczywa pszennego z udziałem m.in. soku buraczanego.



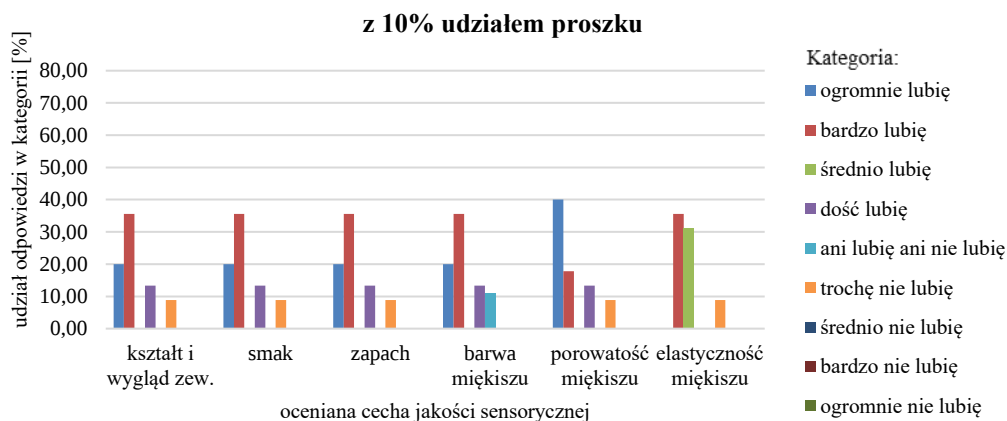
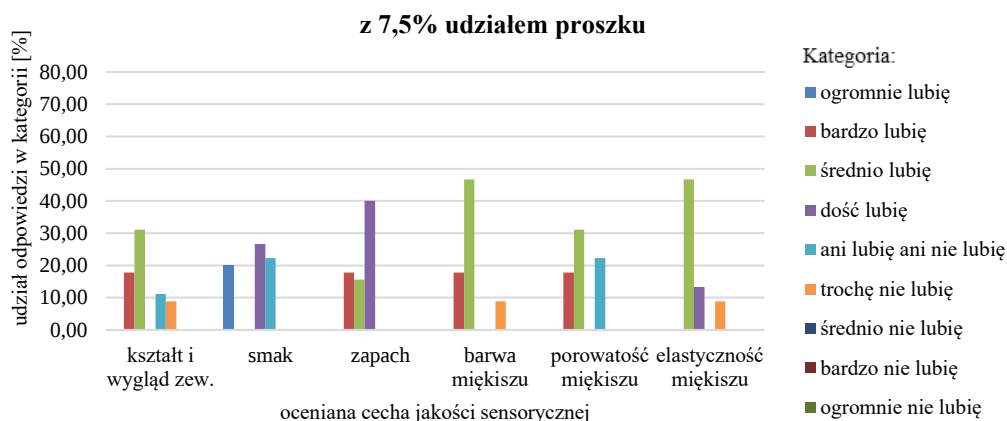
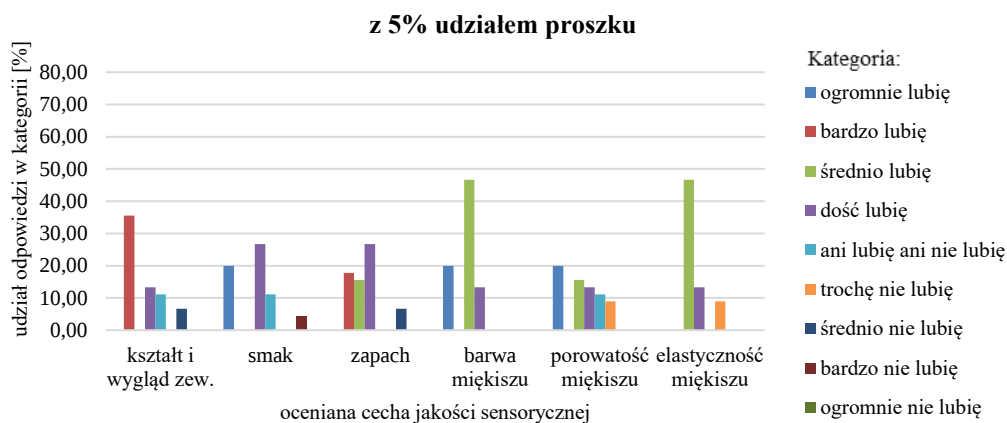
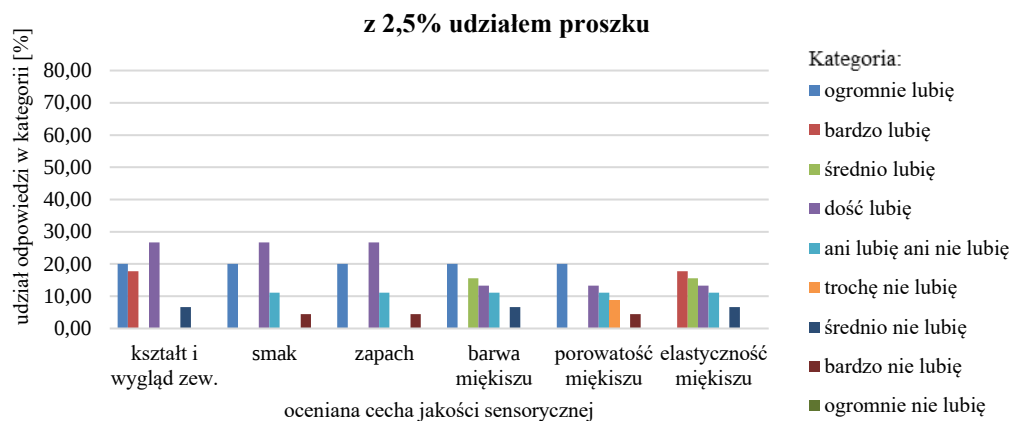
Wykres 2e. Wyniki oceny konsumenckiej chleba pszenno-żytniego (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 2f. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-żytnich z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego



Wykres 2g. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-żytnich z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego



Wykres 2h. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-żytnich z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego

Porównanie wyników ocena konsumenckiej (wykresy 2e-2h) wykazało zróżnicowanie w akceptowalności wybranych cech jakości sensorycznej chlebów pszenno-żytnich. W większości badane pieczywo otrzymało oceny w kategoriach: „bardzo lubię” i „średnio lubię”. W ocenie chlebów z udziałem soku buraczanego odnotowano zmniejszenie udziału odpowiedzi w kategoriach „ogromnie lubię”, „bardzo lubię” i „średnio lubię”. Było to widoczne zwłaszcza w ocenie smaku, zapachu i cech miękiszu (barwa, porowatość, elastyczność) w miarę zwiększania udziału soku w recepturze pieczywa. Akceptowalność pieczywa z 75% i 100% udziałem soku buraczanego była w kategoriach „trochę nie lubię” i „średnio nie lubię”, co było gorszym wynikiem w porównaniu z pozostałymi wariantami z tym rodzajem dodatku i próby kontrolnej. Chleby z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego wyróżniały się dużą akceptowalnością konsumencką, gdyż dla badanych wyróżników jakości uzyskiwały w większości noty w kategoriach „ogromnie lubię”, „bardzo lubię” i „średnio lubię”. Podobnie ocenione chleby pszenno-żytnie wzbogacone proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego.

Ocena jakości sensorycznej pokazała, że pieczywo pszenno-żytnie wzbogacone dodatkami na bazie buraka ćwikłowego jest dobrze akceptowane przez konsumentów, jednakże preferowany jest udział wyłoków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego.

4.2.2.2. Wartość odżywcza i prozdrowotna chlebów pszenno-żytnich z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Wartość odżywczą i prozdrowotną pieczywa pszenno-żytniego z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego wyznaczono na podstawie wyników analizy chemicznej zawartości podstawowych składników odżywczych, barwników betalainowych, związków polifenolowych oraz aktywności przeciwutleniającej.

W tabeli 53 przedstawiono zbadaną wartość energetyczną oraz odżywczą chlebów pszenno-żytnich z udziałem dodatków buraczanych, natomiast w tabeli 39 (strona 130) przedstawiono obliczone na podstawie tabel wartości odżywczej IŻŻ w Warszawie (Kunachowicz i in. 2020) zawartości składników odżywczych w chlebie kontrolnym.

Tabela 53. Wartość odżywcza badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Zawartość w 100 g świeżego chleba					
		Wartość energetyczna		Białko ogółem [g]	Tłuszcz ogółem [g]	Węglowodany ogółem [g]	Błonnik pokarmowy [g]
		kcal	kJ				
Próba kontrolna (bez dodatków)		221,75 ^{e,f} ±2,45	925,98 ^{e,f} ±10,24	6,32 ^{e,f} ±0,07	1,21 ^{e,f} ±0,01	47,73 ^{e,f} ±0,53	2,60 ^{e,f} ±0,03
Z udziałem soku	25%	213,54 ^{c,d,f} ±2,86	891,68 ^{c,d,f} ±11,94	6,09 ^{c,d,f} ±0,08	1,17 ^{c,d,f} ±0,02	45,96 ^{c,d,f} ±0,62	2,50 ^{c,d,f} ±0,03
	50%	209,68 ^{b,c} ±0,43	875,58 ^{b,c} ±1,81	5,98 ^{b,c} ±0,01	1,15 ^{b,c} ±0,00	45,13 ^{b,c} ±0,09	2,46 ^{b,c} ±0,01
	75%	202,51 ^{a,b} ±1,14	845,66 ^{a,b} ±4,74	5,77 ^{a,b} ±0,03	1,11 ^{a,b} ±0,01	43,59 ^{a,b} ±0,24	2,37 ^{a,b} ±0,01
	100%	200,04 ^a ±1,36	835,34 ^a ±5,70	5,70 ^a ±0,04	1,09 ^a ±0,01	43,06 ^a ±0,29	2,34 ^a ±0,02
Z udziałem wytlóków	2,5%	219,16 ^{d,e,f} ±2,61	915,17 ^{d,e,f} ±10,88	6,25 ^{d,e,f} ±0,07	1,20 ^{d,e,f} ±0,01	47,17 ^{d,e,f} ±0,56	2,57 ^{d,e,f} ±0,03
	5%	214,96 ^{c,d,e,f} ±4,15	897,65 ^{c,d,e,f} ±17,34	6,13 ^{c,d,e,f} ±0,12	1,18 ^{c,d,e,f} ±0,02	46,27 ^{c,d,e,f} ±0,89	2,52 ^{c,d,e,f} ±0,05
	7,5%	213,04 ^{c,d} ±8,71	889,62 ^{c,d} ±36,38	6,08 ^{c,d} ±0,25	1,17 ^{c,d} ±0,05	45,85 ^{c,d} ±1,87	2,50 ^{c,d} ±0,10
	10%	222,42 ^e ±10,84	928,78 ^e ±45,28	6,34 ^e ±0,31	1,22 ^e ±0,06	47,87 ^e ±2,33	2,61 ^e ±0,13
Z udziałem proszku	2,5%	212,77 ^{c,d} ±6,53	888,46 ^{c,d} ±27,25	6,07 ^{c,d} ±0,19	1,16 ^{c,d} ±0,04	45,79 ^{c,d} ±1,40	3,10 ^g ±0,08
	5%	211,03 ^{c,d} ±0,67	881,22 ^{c,d} ±2,80	6,02 ^{c,d} ±0,02	1,15 ^{c,d} ±0,00	45,42 ^{c,d} ±0,14	3,47 ^g ±0,01
	7,5%	207,98 ^{b,c} ±0,75	868,47 ^{b,c} ±3,14	5,93 ^{b,c} ±0,02	1,14 ^{b,c} ±0,00	44,76 ^{b,c} ±0,16	4,14 ^h ±0,01
	10%	210,38 ^{b,c} ±0,60	878,51 ^{b,c} ±2,51	6,00 ^{b,c} ±0,02	1,15 ^{b,c} ±0,00	45,28 ^{b,c} ±0,13	4,47 ^h ±0,01
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Badane wzbogacone pieczywo pszenno-żytnie wykazało wartość energetyczną istotnie zróżnicowaną w zależności od rodzaju zastosowanego dodatku z korzenia buraka ćwikłowego oraz wielkości jego udziału w cieście. W porównaniu z obliczoną wartością odżywczą tego wariantu pieczywa mieszanego (tabela 39) badane chleby posiadały kaloryczność średnio o 50 kcal i 100 kJ mniejszą. Z kolei, Achremowicz i in. (2017), w badaniach chlebów z udziałem siemienia lnianego i pestek słonecznika podobnie do badań własnych (tabela 53) zanotowali obniżenie kaloryczności. Natomiast Carocho i in. (2020) w badaniach różnego rodzaju pieczywa

mieszanego uzyskali większe (średnio o 20 kcal) wartości w porównaniu do badanych chlebów (tabela 53).

Zawartość podstawowych składników tj. białka, tłuszczu, węglowodanów i błonnika pokarmowego (tabela 53) była istotnie zróżnicowana pod wpływem obydwu czynników jakościowych. Uzyskane wartości były o 1 g mniejsze dla zawartości białka, dla tłuszczu – o ok. 0,20 g, dla węglowodanów – o ok. 15 g, a w przypadku błonnika pokarmowego o 0,5 g w porównaniu z tabelą wartości odżywczej (tabela 39). Wysoce korzystne jest zwłaszcza obniżenie zawartości węglowodanów, co sprawia, że badane pieczywo z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego mogłoby być stosowane przez osoby na diecie specjalnej. Dodatkowo chleby z udziałem proszku buraczanego cechowały się dwukrotnie większą zawartością błonnika pokarmowego, co także spowodowało obniżenie kaloryczności badanego pieczywa w stosunku do próby kontrolnej.

W tabelach 54-57 przedstawiono wyniki koncentracji betalain w miękiszu lub skórce badanych chlebów pszenno-żytnich z udziałem soku, wyłoków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego.

Tabela 54. Zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 100 g ś.m. skórki]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 100 g ś.m. skórki]	Betalainy ogółem [mg/100 g ś.m. skórki]
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,85	22,81	–	–	–
Z udziałem soku	25%	31,89	21,80	2,401 ^f ±0,004	2,307 ^s ±0,000	4,708 ^f ±0,004
	50%	32,16	21,53	3,624 ⁱ ±0,000	3,590 ^j ±0,000	7,213 ⁱ ±0,000
	75%	32,94	21,21	6,366 ^j ±0,028	6,543 ^k ±0,016	12,909 ^j ±0,044
	100%	32,70	20,64	7,301 ^k ±0,024	6,751 ^l ±0,020	14,053 ^k ±0,043
Z udziałem wyłoków	2,5%	31,93	22,56	1,157 ^a ±0,011	1,365 ^b ±0,008	2,522 ^a ±0,019
	5%	31,89	21,99	1,789 ^c ±0,012	1,552 ^c ±0,003	3,342 ^c ±0,014
	7,5%	31,79	21,62	2,083 ^d ±0,000	1,843 ^d ±0,001	3,927 ^d ±0,003
	10%	31,07	22,18	2,280 ^e ±0,007	2,032 ^e ±0,005	4,312 ^e ±0,011
Z udziałem proszku	2,5%	32,03	21,81	1,425 ^b ±0,010	1,337 ^a ±0,009	2,762 ^b ±0,019
	5%	32,03	21,59	1,803 ^c ±0,010	2,064 ^f ±0,008	3,867 ^d ±0,018
	7,5%	32,47	21,56	3,001 ^s ±0,014	3,193 ^h ±0,008	6,194 ^s ±0,022
	10%	32,28	21,72	3,221 ^h ±0,010	3,559 ⁱ ±0,007	6,780 ^h ±0,017
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..k – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; * - przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka.

Tabela 55. Zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa miększu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miększu [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 100 g ś.m. miększu]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 100 g ś.m. miększu]	Betalainy ogółem [mg/100 g ś.m. miększu]
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,47	45,62	–	–	–
Z udziałem soku	25%	180,70	43,60	1,295 ^c ±0,005	1,211 ^c ±0,002	2,506 ^c ±0,007
	50%	182,25	43,06	1,312 ^d ±0,003	1,590 ^g ±0,002	2,902 ^f ±0,004
	75%	186,66	42,43	3,713 ^k ±0,006	4,291 ^j ±0,008	8,003 ^k ±0,014
	100%	185,29	41,29	4,113 ^l ±0,010	4,787 ^k ±0,011	8,899 ^l ±0,019
Z udziałem wytlóków	2,5%	180,93	45,12	0,595 ^a ±0,005	0,788 ^a ±0,004	1,383 ^a ±0,009
	5%	180,74	43,98	1,176 ^b ±0,003	1,016 ^b ±0,002	2,192 ^b ±0,004
	7,5%	180,12	43,24	1,456 ^f ±0,003	1,286 ^d ±0,005	2,742 ^e ±0,008
	10%	176,07	44,36	1,692 ^g ±0,003	1,520 ^f ±0,007	3,212 ^g ±0,010
Z udziałem proszku	2,5%	181,49	43,62	1,378 ^e ±0,003	1,273 ^d ±0,000	2,652 ^d ±0,003
	5%	181,49	43,19	1,780 ^h ±0,011	1,456 ^e ±0,008	3,236 ^h ±0,019
	7,5%	183,97	43,13	2,370 ⁱ ±0,003	2,102 ^h ±0,007	4,472 ⁱ ±0,009
	10%	182,89	43,45	2,230 ⁱ ±0,003	2,555 ⁱ ±0,006	4,784 ^j ±0,009
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miększ stanowił 85% średniej masy bochenka

W badaniach zawartości barwników betalainowych wykazano istotny wpływ zastosowanego wzbogacenia dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego (w zależności od rodzaju, jak i wielkości udziału w recepturze chleba). Pomiary wykonano osobno dla miększu i skórki ze względu na widoczne różnice w wyglądzie badanego pieczywa pszenno-żytniego (fotografie 10-12, załącznik 14).

Skórka badanego pieczywa pszenno-żytniego (tabela 54) cechowała się znacznym udziałem barwników fioletowych. Wyjątkiem były próby z 7,5 i 10% udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego, gdzie barwników żółtych było więcej (średnio o 0,2 mg/100 g ś.m.). Miększ chlebów (tabela 55) także cechował się znacznym udziałem barwników fioletowych, których zawartość była maksymalnie o 1 mg większa niż barwników żółtych. Wyjątek stanowiły chleby z udziałem wytlóków, gdzie różnica pomiędzy ilościami obu rodzajów betalain wynosiła nie więcej niż 0,3 mg w 100 g świeżej masy miększu. W przypadku obu części chlebów tj. miększu i skórki na mapach ciepła wyróżniono próby z 75 i 100% udziałem soku buraczanego jako te o największych wartościach poszczególnych grup barwników oraz ich ogólnej ilości (wykres 68,

70, załącznik 19). Podobne zawartości barwników betalainowych zanotowali Parafati i in. (2020) w badaniach chlebów wzbogaconych proszkiem z owoców opuncji figowej.

Oszacowaną metodą prostej normalizacji zawartość zidentyfikowanych związków betalainowych w miększu lub skórce badanego pieczywa pszenno-żytniego przedstawiono w tabelach 56 i 57. Profil tych związków zamieszczono w tabeli 42 na stronie 134.

Istotne zróżnicowanie zawartości zidentyfikowanych betalain w skórce chlebów pszenno-żytnich stwierdzono w zależności od rodzaju produktu z korzenia buraka ćwikłowego i jego udziału procentowego w cieście (tabela 56). Wyjątkiem była próba z 2,5% udziałem wyłóków, gdzie ilość zidentyfikowanych związków betalainowych była poniżej progu oznaczalności. W pozostałych próbach badanych dominującymi w skórce związkami były: 5-O-glukozyd betanidyny (betanina), 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina), 17-dekarboksy-betanina i 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina. Ich ilość w zależności od wielkości udziału i rodzaju dodatku buraczanego była w granicach od 1 do 4,5 mg/100 g ś.m. skórki dla każdego związku chemicznego.

Miękisz chlebów pszenno-żytnich (tabela 57) był istotnie zróżnicowany pod względem zawartości zidentyfikowanych związków betalainowych. Próby z 2,5 i 5% udziałem wyłóków posiadały zawartości tych związków poniżej poziomu oznaczalności. Dla prób z udziałem soku buraczanego dominującymi związkami były: 5-O-glukozyd betanidyny (betanina) i 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina. Ich ilości stwierdzono przy wszystkich dawkach udziału procentowego tego produktu, dochodzące odpowiednio do 3,588 mg/100 g ś.m. i 2,179 mg /100 g s.m. miększu. Warianty z 75 i 100% udziałem soku wyróżniały się pełnym profilem zidentyfikowanych związków betalainowych. W przypadku miększu wariantów z udziałem wyłóków zidentyfikowano 5-O-glukozyd betanidyny (betanina) i 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetaniny wyłącznie dla prób z 7,5 i 10% udziałem w recepturze chleba. W badaniach miększu pieczywa pszenno-żytniego wzbogaconego proszkiem buraczanym (tabela 56) w większości prób badanych stwierdzono obecność wszystkich zidentyfikowanych związków betalainowych.

Tabela 56. Oszacowana zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. mięksiszu]

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Suma betalain
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,85	22,81	–	–	–	–	–	–	–
Z udziałem soku	25%	31,89	21,80	1,322 ^d ±0,009	0,801 ^c ±0,002	1,420 ^d ±0,041	<LOQ	0,381 ^{a,b} ±0,006	0,783 ^c ±0,042	4,708 ^f ±0,004
	50%	32,16	21,53	2,374 ^f ±0,069	1,148 ^e ±0,018	2,222 ^f ±0,083	0,376 ^{c,d} ±0,004	0,539 ^{b,c} ±0,334	0,783 ^c ±0,010	7,213 ⁱ ±0,000
	75%	32,94	21,21	3,950 ^g ±0,132	2,513 ^g ±0,079	3,127 ^g ±0,007	0,619 ^e ±0,019	0,799 ^d ±0,072	1,901 ^f ±0,031	12,909 ^j ±0,044
	100%	32,70	20,64	4,587 ^h ±0,010	2,895 ^h ±0,042	3,165 ^g ±0,050	0,657 ^f ±0,011	0,798 ^d ±0,009	1,952 ^f ±0,063	14,053 ^k ±0,043
Z udziałem wyłoków	2,5%	31,93	22,56	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	5%	31,89	21,99	1,058 ^b ±0,019	0,710 ^{a,b} ±0,011	1,574 ^e ±0,030	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,342 ^b ±0,014
	7,5%	31,79	21,62	1,157 ^c ±0,024	0,897 ^d ±0,021	1,012 ^b ±0,034	0,392 ^d ±0,012	<LOQ	0,469 ^a ±0,025	3,927 ^d ±0,003
	10%	31,07	22,18	1,198 ^c ±0,005	0,779 ^{b,c} ±0,018	1,230 ^c ±0,0230	0,325 ^b ±0,010	0,225 ^a ±0,021	0,554 ^b ±0,030	4,312 ^e ±0,011
Z udziałem proszku	2,5%	32,03	21,81	0,612 ^a ±0,019	0,656 ^a ±0,021	0,753 ^a ±0,010	<LOQ	<LOQ	0,741 ^c ±0,008	2,762 ^a ±0,019
	5%	32,03	21,59	1,026 ^b ±0,030	0,748 ^{b,c} ±0,023	0,980 ^b ±0,002	0,254 ^a ±0,008	0,338 ^a ±0,005	0,521 ^b ±0,004	3,867 ^c ±0,018
	7,5%	32,47	21,56	1,776 ^e ±0,042	1,305 ^f ±0,085	1,190 ^c ±0,036	0,349 ^{b,c} ±0,016	0,550 ^{b,c} ±0,016	1,023 ^d ±0,007	6,194 ^g ±0,022
	10%	32,28	21,72	1,771 ^e ±0,017	1,344 ^f ±0,072	1,416 ^d ±0,038	0,382 ^d ±0,045	0,614 ^{c,d} ±0,007	1,252 ^e ±0,021	6,780 ^h ±0,017
Dwuczynnikowa ANOVA-p										
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

[1]- 5-O-glukozyd betanidyny (betanina)

[2]- 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina)

[3]- 17-dekarboksy-betanina

[4]- 17-dekarboksy-neobetanina

[5]- 2-dekarboksy-betanina

[6]- 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina

a..k – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka; <LOQ – śladowa ilość (poniżej prognoznaczalności, ang. limit of quantification).

Tabela 57. Oszacowana zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. miększu]

Badane pieczywo		Masa miększu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miększu [%]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Suma betalain
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,47	45,62	–	–	–	–	–	–	–
Z udziałem soku	25%	180,70	43,60	1,214 ^c ±0,014	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,292 ^f ±0,014	2,506 ^a ±0,007
	50%	182,25	43,06	1,101 ^b ±0,019	0,506 ^a ±0,015	0,385 ^c ±0,026	0,072 ^a ±0,001	0,240 ^a ±0,003	0,598 ^b ±0,019	2,902 ^d ±0,004
	75%	186,66	42,43	3,261 ^g ±0,052	1,295 ^d ±0,021	0,380 ^c ±0,004	0,143 ^c ±0,005	0,803 ^e ±0,030	2,122 ^h ±0,008	8,003 ⁱ ±0,014
	100%	185,29	41,29	3,588 ^h ±0,113	1,574 ^e ±0,067	0,619 ^e ±0,019	0,200 ^d ±0,003	0,740 ^d ±0,045	2,179 ⁱ ±0,023	8,899 ^j ±0,019
Z udziałem wyłoków	2,5%	180,93	45,12	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	5%	180,74	43,98	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	7,5%	180,12	43,24	1,244 ^{c,d} ±0,044	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,498 ^g ±0,008	2,742 ^c ±0,008
	10%	176,07	44,36	1,321 ^d ±0,007	0,829 ^c ±0,027	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,062 ^e ±0,034	3,212 ^e ±0,010
Z udziałem proszku	2,5%	181,49	43,62	0,773 ^a ±0,044	0,603 ^b ±0,019	0,308 ^b ±0,018	0,243 ^e ±0,007	0,242 ^a ±0,008	0,482 ^a ±0,008	2,652 ^b ±0,003
	5%	181,49	43,19	1,321 ^d ±0,003	0,561 ^b ±0,013	<LOQ	<LOQ	0,478 ^b ±0,005	0,875 ^c ±0,005	3,236 ^f ±0,019
	7,5%	183,97	43,13	1,417 ^e ±0,037	0,858 ^c ±0,012	0,466 ^d ±0,002	0,255 ^e ±0,025	0,493 ^b ±0,023	0,982 ^d ±0,053	4,472 ^g ±0,009
	10%	182,89	43,45	1,641 ^f ±0,056	0,855 ^c ±0,025	0,210 ^a ±0,010	0,102 ^b ±0,005	0,640 ^c ±0,004	1,336 ^f ±0,011	4,784 ^h ±0,009
Dwuczynnikowa ANOVA-p										
czynnik 1				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 2				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
czynnik 1 x czynnik 2				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

[1]- 5-O-glukozyd betanidyny (betanina)

[2]- 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina)

[3]- 17-dekarboksy-betanina

[4]- 17-dekarboksy-neobetanina

[5]- 2-dekarboksy-betanina

[6]- 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miększ stanowił 85% średniej masy bochenka; <LOQ– śladowa ilość (poniżej progu oznaczalności, ang. limit of quantification).

Ogólną zawartość polifenoli oraz aktywność przeciwutleniającą skórki i miąższu badanych chlebów pszenno-żytnich przedstawiono w tabelach 58 i 59.

Tabela 58. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca skórki badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/100 g ś.m. skórki]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/100 g ś.m. skórki]	
					metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH [·]
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,85	22,81	43,67 ^a ±0,13	210,94 ^a ±10,44	36,07 ^a ±0,82
Z udziałem soku	25%	31,89	21,80	62,28 ^e ±0,51	553,77 ^{c,d} ±15,73	41,25 ^b ±0,00
	50%	32,16	21,53	67,77 ^f ±0,22	611,04 ^e ±15,51	51,82 ^c ±0,23
	75%	32,94	21,21	75,86 ^g ±0,13	1044,06 ^h ±36,94	77,24 ^{d,e} ±1,98
	100%	32,70	20,64	91,08 ⁱ ±0,97	1159,25 ⁱ ±25,85	96,83 ⁱ ±2,24
Z udziałem wyłoków	2,5%	31,93	22,56	52,75 ^b ±0,38	501,33 ^b ±33,63	78,62 ^d ±0,79
	5%	31,89	21,99	53,42 ^b ±0,44	524,06 ^{b,c} ±13,84	86,77 ^g ±1,21
	7,5%	31,79	21,62	56,67 ^c ±0,25	584,87 ^{d,e} ±7,68	84,10 ^f ±0,61
	10%	31,07	22,18	60,06 ^d ±0,22	618,23 ^e ±19,11	83,82 ^e ±0,23
Z udziałem proszku	2,5%	32,03	21,81	67,79 ^f ±0,79	663,25 ^f ±42,32	94,37 ^h ±1,66
	5%	32,03	21,59	83,31 ^h ±0,13	955,17 ^g ±15,68	104,08 ⁱ ±0,83
	7,5%	32,47	21,56	102,90 ^j ±0,13	1460,84 ^j ±12,22	113,06 ^k ±1,01
	10%	32,28	21,72	110,99 ^k ±0,13	1474,57 ^j ±55,10	120,89 ^j ±1,52
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka.

Tabela 59. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca miękiszu badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa miękiszu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miękiszu [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/100 g ś.m. miękiszu]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/100 g ś.m. miękiszu]	
					metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH [·]
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,47	45,62	22,39 ^a ±0,64	81,15 ^a ±6,22	19,95 ^a ±0,56
Z udziałem soku	25%	180,70	43,60	32,09 ^e ±0,24	305,45 ^{b,c} ±13,39	29,69 ^c ±0,44
	50%	182,25	43,06	37,35 ^h ±0,28	342,67 ^{c,d} ±10,05	46,17 ^f ±3,07
	75%	186,66	42,43	40,48 ⁱ ±0,34	685,07 ^h ±11,37	50,71 ^g ±0,68
	100%	185,29	41,29	36,51 ^h ±0,25	719,55 ^h ±7,94	63,26 ^j ±0,79
Z udziałem wytlóków	2,5%	180,93	45,12	23,07 ^b ±0,09	274,40 ^b ±1,24	25,55 ^b ±0,00
	5%	180,74	43,98	29,76 ^c ±0,16	296,38 ^b ±21,79	34,18 ^d ±0,29
	7,5%	180,12	43,24	30,66 ^d ±0,09	382,40 ^{d,e} ±28,70	37,59 ^e ±0,73
	10%	176,07	44,36	33,91 ^f ±0,09	434,71 ^{e,f} ±16,65	39,44 ^e ±0,44
Z udziałem proszku	2,5%	181,49	43,62	35,49 ^g ±0,42	430,56 ^f ±33,45	32,36 ^d ±1,33
	5%	181,49	43,19	54,80 ^j ±0,19	614,48 ^g ±72,45	57,92 ^h ±1,22
	7,5%	183,97	43,13	59,18 ^l ±0,09	732,38 ^h ±24,86	61,34 ⁱ ±0,29
	10%	182,89	43,45	58,72 ^k ±0,61	786,36 ⁱ ±37,13	71,48 ^k ±0,88
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miękisz stanowił 85% średniej masy bochenka.

W badaniach zaobserwowano istotne różnice dla wszystkich uzyskanych wartości wybranych wskaźników wartości prozdrowotnej. Szczególnie wysoką wartość prozdrowotną miały chleby wzbogacane sokiem lub proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego. Skórka (tabela 58) i miękisz (tabela 59) tych prób zawierały dwukrotnie więcej polifenoli ogółem i posiadały 10-krotnie większą aktywność przeciwutleniającą w 100 g świeżej masy w porównaniu do wartości odpowiadającym im prób kontrolnych, co miało także potwierdzenie na mapach ciepła (wykres 69, 71, załącznik 19). Wielkość udziału wytlóków określona recepturą chleba także wpłynął na zwiększenie wartości prozdrowotnej badanego pieczywa pszenno-żytniego. Zawartość polifenoli ogółem dla miękiszu (tabela 59) tych wariantów był maksymalnie o 10 mg większa niż dla chleba bez dodatków (22,39 mg/100 g ś.m.). W przypadku skórki (tabela 58) pieczywo z udziałem wytlóków posiadało o 20 mg większą zawartość związków polifenolowych niż skórka pieczywa kontrolnego (43,67 mg/100 g ś.m.). Aktywność przeciwutleniająca chlebów pszenno-żytnich z tym rodzajem dodatku buraczanego także była wyższa od chleba bez dodatków (średnio o 300 μmoli Trolox/100 g ś.m wobec rodników ABTS* i o 20 μmoli Trolox/100 g ś.m wobec rodników

DPPH*. Podobne wyniki zanotowali także Baiano i in. (2015) w badaniach chlebów wzbogaconych ekstraktami z wyłóków warzywnych.

4.2.3. Chleby pszenno-owsiane wzbogacone dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Wyniki oceny parametrów procesu wypiekowego chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego przedawniono w tabeli 60. Dokumentację fotograficzną rezultatów wypieku tych chlebów umieszczono w załączniku 15.

Tabela 60. Parametry procesu wypiekowego badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Wydajność ciasta [%]	Upiek [%]	Wydajność pieczywa [%]
Próba kontrolna (bez dodatków)		133,37 ^a ±0,40	9,11 ^{a,b,c,d} ±0,20	113,83 ^{b,c} ±0,34
Z udziałem soku	25%	133,90 ^b ±0,20	8,47 ^{a,b} ±0,24	112,53 ^a ±0,33
	50%	134,27 ^{b,c} ±0,21	8,91 ^{a,b,c} ±0,15	113,20 ^{a,b} ±0,26
	75%	134,43 ^c ±0,21	9,99 ^d ±0,76	113,20 ^{a,b} ±0,75
	100%	134,40 ^c ±0,10	9,90 ^d ±0,14	113,59 ^{b,c} ±0,11
Z udziałem wyłóków	2,5%	133,33 ^a ±0,15	9,48 ^{c,d} ±1,05	114,24 ^c ±1,05
	5%	135,33 ^d ±0,25	8,40 ^a ±0,07	116,15 ^d ±0,06
	7,5%	136,40 ^e ±0,10	8,94 ^{a,b,c} ±0,12	116,80 ^d ±0,38
	10%	138,17 ^f ±0,21	9,46 ^{c,d} ±0,26	117,72 ^e ±0,29
Z udziałem proszku	2,5%	135,33 ^d ±0,21	8,70 ^{a,b,c} ±0,64	117,81 ^e ±0,68
	5%	138,90 ^g ±0,10	9,11 ^{a,b,c,d} ±0,77	120,61 ^f ±0,77
	7,5%	142,47 ^h ±0,38	9,35 ^{b,c,d} ±0,31	123,69 ^g ±0,09
	10%	145,40 ⁱ ±0,26	9,24 ^{a,b,c,d} ±0,45	125,98 ^h ±0,32
Dwuczynnikowa ANOVA-p				
czynnik 1		< 0,001	0,470	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..i – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Wydajność ciasta pszenno-owsianego różniła się istotnie, na co miały wpływ rodzaj i wielkość udziału procentowego dodatków wzbogacających pieczywo pszenno-owsiane (tabela 60). Zanotowano zwiększenie wartości tego parametru wraz z zwiększeniem udziału procentowego badanych dodatków na bazie buraka ćwikłowego. Chleby z udziałem soku wykazały wydajność ciasta o 0,6-1% większą, z wyłókami o 2-5% większą, a dla chlebów z proszkiem buraczanym o 2-12% większą niż wydajność ciasta w wypieku chleba bez dodatków (133,37%). W badaniach wzbogaconego pieczywa pszenno-owsianego (tabela 60) zanotowano także istotne zwiększenie wydajności pieczywa w stosunku do pieczywa kontrolnego. Największą wartość tego parametru uzyskano w badaniach chleba z 10% udziałem proszku buraczanego i była ona o 10% większa od wydajności chleba kontrolnego (113,83%).

W przypadku upieku istotnym czynnikiem różnicującym wypieki badanych wariantów z dodatkiem buraczanym była wielkość udziału dodatku buraczanego w recepturze chleba. Jego rodzaj nie wpłynął istotnie na wartości tego parametru. Chleb kontrolny osiągnął upiek równy 9,11%, w przypadku prób badanych zanotowano zwiększenie upieku pod wpływem zwiększenia udziału dodatku z buraka ćwikłowego w badanym chlebie. Wyjątkiem były próby z wytløkami, a chleb z 2,5% udziałem tego dodatku w mieszance użytej do jego wytworzenia wykazał największy upiek spośród wariantów z tym dodatkiem (9,48%). Taki układ zależności pomiędzy badanymi próbami potwierdziła także mapa ciepła (wykres 61, załącznik 18). Litwinek i in. (2013) i Zięc i in. (2013) w badaniach pieczywa pszenno-owsianego uzyskali wartości wskaźników procesu wypiekowego większe niż zanotowane w badaniach własnych (tabela 60). Dotyczy to w szczególności wydajności pieczywa, dla której autorzy ci uzyskali wartości o 20% większe niż uzyskane w badaniach własnego chleba kontrolnego (tabela 60).

Ocena jakości badanego pieczywa pszenno-owsianego uwzględniła również oznaczenie wyróżników fizykochemicznych, a wyniki badań w tym zakresie przedstawiono w tabeli 61.

Tabela 61. Parametry fizykochemiczne badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa bochenka [g]	Objętość właściwa [cm ³ /g]	Objętość pieczywa [cm ³ /100g pieczywa]	Wilgotność miękiszu pieczywa [%]	Kwasowość pieczywa [stopnie kwasowości]	Współczynnik porowatości Dallmana
Próba kontrolna (bez dodatków)		212,89 ^{a,b} ±0,88	1,99 ^{d,e} ±0,11	199 ^{d,e} ±11	45,07 ^{c,d,e} ±0,46	1,61 ^{b,c} ±0,09	90 ^b ±6
Z udziałem soku	25%	210,82 ^a ±0,80	2,07 ^{e,f} ±0,02	207 ^{e,f} ±2	43,94 ^c ±1,33	1,56 ^{a,b,c} ±0,05	90 ^b ±6
	50%	211,84 ^a ±0,60	2,01 ^{d,e} ±0,02	201 ^{d,e} ±2	44,18 ^c ±0,47	1,62 ^{b,c} ±0,04	90 ^b ±0
	75%	210,38 ^a ±1,64	1,96 ^{d,e} ±0,07	196 ^{d,e} ±7	42,85 ^b ±0,83	1,67 ^c ±0,12	90 ^b ±3
	100%	211,76 ^a ±0,18	2,03 ^{d,e} ±0,01	203 ^{d,e} ±1	41,54 ^a ±1,26	1,82 ^d ±0,04	80 ^a ±6
Z udziałem wycieków	2,5%	213,18 ^{a,b} ±1,99	2,17 ^f ±0,02	217 ^f ±2	45,72 ^{d,e,f} ±0,51	1,66 ^c ±0,04	90 ^b ±6
	5%	215,40 ^{b,c} ±0,44	1,97 ^{d,e} ±0,10	197 ^{d,e} ±10	45,81 ^{e,f} ±0,39	1,69 ^c ±0,06	90 ^b ±6
	7,5%	213,70 ^{a,b} ±0,28	1,94 ^{d,e} ±0,12	194 ^{d,e} ±12	46,29 ^f ±0,23	1,56 ^{a,b,c} ±0,10	90 ^b ±0
	10%	211,58 ^a ±5,65	1,80 ^c ±0,06	180 ^c ±6	46,56 ^f ±0,09	1,50 ^{a,b} ±0,05	90 ^b ±3
Z udziałem proszku	2,5%	218,00 ^c ±1,23	1,92 ^{c,d} ±0,04	192 ^{c,d} ±4	44,32 ^c ±0,67	1,58 ^{a,b,c} ±0,02	90 ^b ±6
	5%	216,92 ^c ±1,64	1,80 ^c ±0,06	180 ^c ±6	45,70 ^{d,e,f} ±0,33	1,48 ^a ±0,03	90 ^b ±0
	7,5%	217,32 ^c ±0,46	1,63 ^b ±0,02	163 ^b ±2	44,53 ^{c,d} ±0,06	1,50 ^{a,b} ±0,06	90 ^b ±3
	10%	217,10 ^c ±1,01	1,48 ^a ±0,01	148 ^a ±1	44,49 ^c ±0,43	1,48 ^a ±0,03	80 ^a ±3
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		0,300	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,895	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..f – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Masa bochenka badanego pieczywa pszenno-owsianego była w granicach od 210,38 g do 218,00 g (tabela 61). Była ona istotnie zróżnicowana w zależności od rodzaju dodatku z korzenia buraka ćwikłowego. Nie zanotowano istotnego wpływu wielkości udziału badanego dodatku na masę bochenków. Największe masy wykazały chleby z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego, prawdopodobnie dlatego, że dodatek ten zawierający dużą ilość błonnika pokarmowego utrudniał gromadzenie się gazów wewnątrz siatki glutenowej w cieście. Mogło być to powodem uzyskania bochenków o dużej masie, zbitym miękiszu i małej jego porowatości.

Warianty z sokiem lub wyłokami buraczanymi wykazały masę bochenka zbliżoną do masy próby kontrolnej (212,89 g).

Porównanie wyników pomiaru objętości badanego pieczywa (tabela 61) wykazało istotne oddziaływanie nie tylko rodzaju dodatku buraczanego, ale też wielkości jego udziału w cieście, co potwierdziła także mapa ciepła (wykres 62, załącznik 18). W miarę zwiększania udziału dodatku w mieszance wypiekowej uzyskiwano pieczywo o mniejszej objętości, maksymalnie o 50 cm³/100 g pieczywa mniejsze w porównaniu z próbą kontrolną (199 cm³/100 g pieczywa). Odunlade i in. (2017) w badaniach chlebów pszennych z udziałem proszku z liści dyni, amarantusa i bakłazana uzyskali większą objętość pieczywa niż zanotowana w badaniach własnych (tabela 61). Zanotowana objętość właściwa badanych chlebów (tabela 61) była także mniejsza (od 0,5 do 1 cm³/g) od uzyskanej w badaniach Cantero i in. (2022), które dotyczyły chleba z udziałem proszku z wyłoków jabłkowych. Natomiast Angioloni i Collar (2013) uzyskali podobną objętość chleba jak omawianych badaniach własnych (tabela 61).

Wilgotność miększu badanego pieczywa pszenno-owsianego (tabela 61) była istotnie zróżnicowana w zależności od rodzaju dodatku buraczanego oraz wielkości jego udziału w cieście. Największe wartości wykazały próby z udziałem wyłoków, których wilgotność miększu była o 0,6 do 1,5% większa od wilgotności miększu chleba bez dodatków (45,07%). Mniejszą wilgotnością miększu (średnio o 1-2%), niż wykazało pieczywo kontrolne, odróżniały się chleby z sokiem lub proszkiem buraczanym. Zbliżone wartości wilgotności miększu do uzyskanych w badaniach własnych (tabela 61) zanotowali Baiano i in. (2015) w badaniach pieczywa pszenno-owsianego z ekstraktami z wyłoków warzywnych oraz Kawka i Górecka (2010) w badaniach chlebów pszenno-owsianych i pszenno-jęczmiennych na zakwasie.

Kwasowości miększu badanego pieczywa pszenno-owsianego (tabela 61) była zależna od rodzaju użytego do wzbogacenia pieczywa dodatku z korzenia buraka ćwikłowego. Wielkość udziału wybranego dodatku buraczanego w recepturze chleba nie spowodowała istotnych statystycznie różnic wartości tego parametru. Kwasowość pieczywa w zależności od badanego wariantu mieściła się w granicach od 1,48 do 1,82 stopni kwasowości. Udział soku w recepturze chleba zwiększał kwasowość miększu badanego pieczywa pszenno-owsianego, natomiast udział wyłoków lub proszku buraczanego powodował obniżenie wartości tego parametru. Wzrost kwasowości miększu pod wpływem produktów owsianych zanotowały także Kawka i Górecka (2010) w badaniach chlebów pszenno-owsianych i pszenno-jęczmiennych na zakwasie.

Porowatość miększu badanych chlebów pszenno-owsianych z dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego była istotnie zróżnicowana w porównaniu z chlebem bez dodatków (tabela 61; fotografie 16-18, załącznik 15). Najmniejszy współczynnik porowatości miększu w skali

Dallmana (80) wykazały chleby z 100% udziałem soku oraz z 10% udziałem proszku buraczanego w mieszankach użytych do ich wypieku. Mięksiz chleba kontrolnego oraz pozostałe warianty badane uzyskały współczynnik porowatości równy 90, wskazujący na występowanie w strukturze mięksizu nielicznych porów o większej bądź mniejszej wielkości niż pozostałe.

W badaniach chlebów pszenno-owsianych wykonano także analizę tekstury mięksizu, a wyniki badań przedstawiono w tabeli 62.

Tabela 62. Parametry tekstury mięksizu (test TPA) badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Twardość [N]	Sprężystość [–]	Żujność [N]	Spoistość (kohezijność) [–]
Próba kontrolna (bez dodatków)		10,04 ^{a,b,c} ±0,93	0,73 ^f ±0,04	4,50 ^{c,d,e,f} ±0,64	0,61 ^{c,d} ±0,03
Z udziałem soku	25%	16,42 ^g ±2,63	0,55 ^{a,b,c} ±0,02	4,11 ^{b,c,d,e} ±0,76	0,45 ^a ±0,06
	50%	12,41 ^{b,c,d,e,f} ±1,63	0,54 ^{a,b} ±0,02	2,90 ^a ±0,22	0,44 ^a ±0,03
	75%	14,00 ^{c,d,e,f,g} ±3,93	0,51 ^a ±0,03	3,39 ^{a,b,c} ±0,45	0,49 ^{a,b} ±0,05
	100%	16,31 ^{f,g} ±3,15	0,54 ^{a,b} ±0,04	3,83 ^{a,b,c,d} ±0,65	0,44 ^a ±0,03
Z udziałem wytlóków	2,5%	11,28 ^{a,b,c,d} ±0,87	0,62 ^{d,e} ±0,06	3,80 ^{a,b,c,d} ±0,40	0,55 ^{b,c} ±0,02
	5%	9,89 ^{a,b} ±1,17	0,61 ^{c,d,e} ±0,00	3,56 ^{a,b,c,d} ±0,56	0,59 ^{c,d} ±0,03
	7,5%	11,07 ^{a,b,c,d} ±1,40	0,64 ^e ±0,03	3,97 ^{a,b,c,d} ±0,22	0,57 ^{c,d} ±0,06
	10%	11,96 ^{a,b,c,d,e} ±2,73	0,65 ^e ±0,04	4,56 ^{d,e,f} ±1,02	0,59 ^{c,d} ±0,01
Z udziałem proszku	2,5%	7,92 ^a ±1,76	0,63 ^{d,e} ±0,01	3,12 ^{a,b} ±0,72	0,63 ^d ±0,03
	5%	14,42 ^{d,e,f,g} ±2,02	0,64 ^e ±0,02	5,20 ^{e,f,g} ±0,67	0,57 ^{c,d} ±0,03
	7,5%	15,39 ^{e,f,g} ±1,64	0,57 ^{b,c,d} ±0,03	5,31 ^{f,g} ±0,63	0,60 ^{c,d} ±0,03
	10%	20,20 ^h ±2,87	0,52 ^{a,b} ±0,02	6,21 ^g ±0,21	0,59 ^{c,d} ±0,04
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..h – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$

Podstawowym parametrem tekstury mięksizu jest jego twardość. Stwierdzono istotny wpływ rodzaju dodatku wzbogacającego oraz wielkości jego udziału w mieszance wypiekowej na średnie wartości twardości mięksizu uzyskanego chleba (tabela 62). Twardość mięksizu chleba kontrolnego wyniosła 10,04 N, a większość prób badanych wykazała większe wartości tego parametru (średnio o 5 N). Jednakże, mięksiz chlebów z 2,5% udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego (7,92 N) i z 5% udziałem wytlóków (9,89 N) w mieszance wypiekowej użytej do ich wypieku, był o mniejszej twardości w porównaniu z próbą bez dodatków (chlebem kontrolnym).

W badaniach tekstury mięksizu pieczywa pszenno-owsianego (tabela 62) zanotowano istotny wpływ dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego na sprężystość i spoistość.

Wartości tych parametrów zmniejszały się w miarę zwiększania udziału produktów buraczanych w recepturze do wypieku badanych chlebów.

W przypadku żujności miękiszu chlebów pszenno-owsianych zaobserwowano istotne zróżnicowanie próby kontrolnej i prób badanych. Wpływ na nie miały oba czynniki jakościowe, rodzaj dodatku i jego udział procentowy. Próba kontrolna wykazała żujność miękiszu równą 4,50 N, natomiast próby badane z dodatkiem soku lub wyłoków osiągnęły wartości do 1,5 N mniejsze. Na te zależności wskazał także układ skupisk na mapie ciepła (wykres 63, załącznik 19). Chleby z mieszanek pszenno-owsianych z 5, 7,5 i 10% udziałem proszku buraczanego miały miękisz o większej żujności niż próba kontrolna (4,50 N). Podobne wartości parametrów tekstury miękiszu do uzyskanych w badaniach własnych (tabela 62) zanotowali Litwinek i in. (2013) i Różyło (2007) w badaniach pieczywa pszenno-owsianego oraz Cantero i in. (2022) w badaniach chlebów pszennych z proszkiem z wyłoków jabłkowych.

W badaniach barwy chlebów pszenno-owsianych pomiary wykonano osobno dla skórki i dla miękiszu pieczywa, a wyniki przedstawiono w tabelach 63 i 64.

Tabela 63. Parametry barwy skórki badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		L	a*	b*	ΔE^*
Próba kontrolna (bez dodatków)		56,24 ^g ± 3,67	13,65 ^a ± 2,04	32,08 ^h ± 1,75	–
Z udziałem soku	25%	45,71 ^{c,d,e,f} ± 2,08	22,65 ^{e,f} ± 0,78	23,91 ^{e,f} ± 0,79	15,16 ^b ± 1,13
	50%	40,40 ^{b,c} ± 3,00	23,05 ^f ± 0,39	19,90 ^c ± 0,21	21,21 ^{c,d} ± 1,94
	75%	33,74 ^a ± 1,57	19,99 ^{c,d,e} ± 2,89	16,52 ^{a,b} ± 1,18	27,29 ^{e,f} ± 1,89
	100%	33,30 ^a ± 3,38	19,77 ^{c,d,e} ± 1,12	14,59 ^a ± 3,45	28,78 ^f ± 4,55
Z udziałem wyłoków	2,5%	49,99 ^f ± 3,68	15,85 ^{a,b} ± 3,14	26,16 ^{f,g} ± 3,08	9,60 ^a ± 2,57
	5%	49,36 ^{e,f} ± 1,78	19,24 ^{c,d} ± 0,63	26,17 ^{f,g} ± 0,61	10,02 ^a ± 0,65
	7,5%	45,91 ^{c,d,e,f} ± 1,32	20,66 ^{d,e,f} ± 0,15	24,87 ^{f,g} ± 0,45	13,42 ^{a,b} ± 0,84
	10%	42,22 ^{b,c} ± 1,32	20,76 ^{d,e,f} ± 0,59	23,51 ^{d,e,f} ± 0,22	16,81 ^{b,c} ± 0,75
Z udziałem proszku	2,5%	48,22 ^{d,e,f} ± 2,69	17,75 ^{b,c,d} ± 0,32	27,39 ^g ± 1,27	9,20 ^a ± 2,61
	5%	43,37 ^{c,d} ± 6,43	16,91 ^{b,c} ± 2,34	21,35 ^{c,d,e} ± 1,63	17,38 ^{b,c} ± 2,46
	7,5%	37,58 ^{a,b} ± 3,53	17,18 ^{b,c} ± 0,55	18,72 ^{b,c} ± 2,92	22,49 ^{d,e} ± 4,52
	10%	44,02 ^{c,d,e} ± 1,58	18,03 ^{b,c,d} ± 0,56	20,39 ^{c,d} ± 2,49	17,15 ^{b,c} ± 1,47
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..h – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Barwa skórki badanych chlebów pszenno-owsianych (tabela 63) była istotnie zależna od rodzaju dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego, jak i wielkości jego udziału w recepturze pieczywa. Jasność skórki (L) próby kontrolnej wynosiła 56,24. Wartości tego parametru

w badaniach prób badanych małały przy stopniowym zwiększaniu udziału każdego rodzaju badanego dodatku buraczanego (maksymalnie do 33,30 dla 100% udziału soku). Parametry chromatyczności dla próby kontrolnej wynosiły odpowiednio $a^*=13,56$ i $b^*=32,08$, co świadczy o przewadze udziału składowej barwy żółtej nad czerwoną w barwie skórki. W próbach badanych natomiast w zależności od rodzaju dodatku buraczanego oraz wielkości udziału w cieście następowało zwiększenie udziału składowej barwy czerwonej koloru przy niewielkim zmniejszeniu wartości parametru b^* , odpowiadającego barwie żółtej. W przypadku bezwzględnej różnicy barwy (ΔE^*) zanotowano zwiększenie jej wartości w obrębie każdego dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego przy stopniowym zwiększaniu jego udziału w recepturze chleba. Ponadto, wartości ΔE^* obliczone dla wszystkich badanych chlebów z dodatkami wykazały wartość ponad 5, a to było podstawą do stwierdzenia, że skórka wszystkich chlebów badanych była różna od barwy skórki chleba kontrolnego. Inni autorzy, Parafati i in. (2020) – w badaniach chlebów z proszkiem z owoców opuncji figowej oraz Kohajdova i in. (2018) – w badaniach chlebów z proszkiem buraczanym odnotowali podobne parametry barwy skórki chlebów do uzyskanych w omawianych badaniach (tabela 63).

Tabela 64. Parametry barwy miękkiszu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

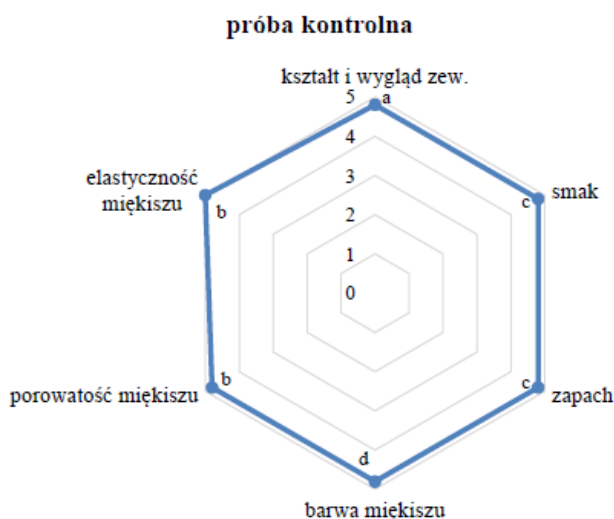
Badane pieczywo		L	a^*	b^*	ΔE^*
Próba kontrolna (bez dodatków)		67,96 ⁱ ± 0,76	2,48 ^a ± 0,11	19,41 ^b ± 0,63	–
Z udziałem soku	25%	54,78 ^e ± 2,10	10,41 ^e ± 0,63	26,12 ^f ± 0,33	16,16 ^d ± 2,01
	50%	46,41 ^c ± 1,03	16,70 ^h ± 0,83	22,58 ^d ± 0,16	25,47 ^f ± 1,27
	75%	41,45 ^b ± 1,03	20,60 ⁱ ± 0,31	19,72 ^{b,c} ± 0,50	31,62 ^g ± 1,02
	100%	37,23 ^a ± 1,35	23,69 ^j ± 0,41	17,17 ^a ± 0,36	36,96 ^h ± 0,98
Z udziałem wytlóków	2,5%	65,23 ^h ± 1,56	3,03 ^a ± 0,29	22,17 ^d ± 0,69	3,34 ^a ± 1,29
	5%	61,10 ^g ± 0,79	5,73 ^b ± 0,42	26,25 ^f ± 0,15	9,54 ^b ± 0,48
	7,5%	57,71 ^f ± 1,02	6,15 ^{b,c} ± 0,35	25,10 ^e ± 1,01	11,60 ^c ± 1,38
	10%	54,01 ^e ± 0,26	9,39 ^d ± 0,61	25,14 ^e ± 0,31	15,96 ^d ± 0,09
Z udziałem proszku	2,5%	57,32 ^f ± 0,48	6,76 ^c ± 0,31	26,10 ^f ± 0,38	12,60 ^d ± 0,26
	5%	48,49 ^d ± 1,91	9,43 ^d ± 0,39	24,27 ^e ± 0,44	20,62 ^e ± 1,92
	7,5%	45,70 ^c ± 1,34	12,52 ^f ± 0,70	22,95 ^d ± 0,74	24,11 ^f ± 1,39
	10%	40,61 ^b ± 0,52	15,76 ^g ± 0,78	20,58 ^c ± 0,56	29,91 ^g ± 0,36
Dwuczynnikowa ANOVA-p					
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

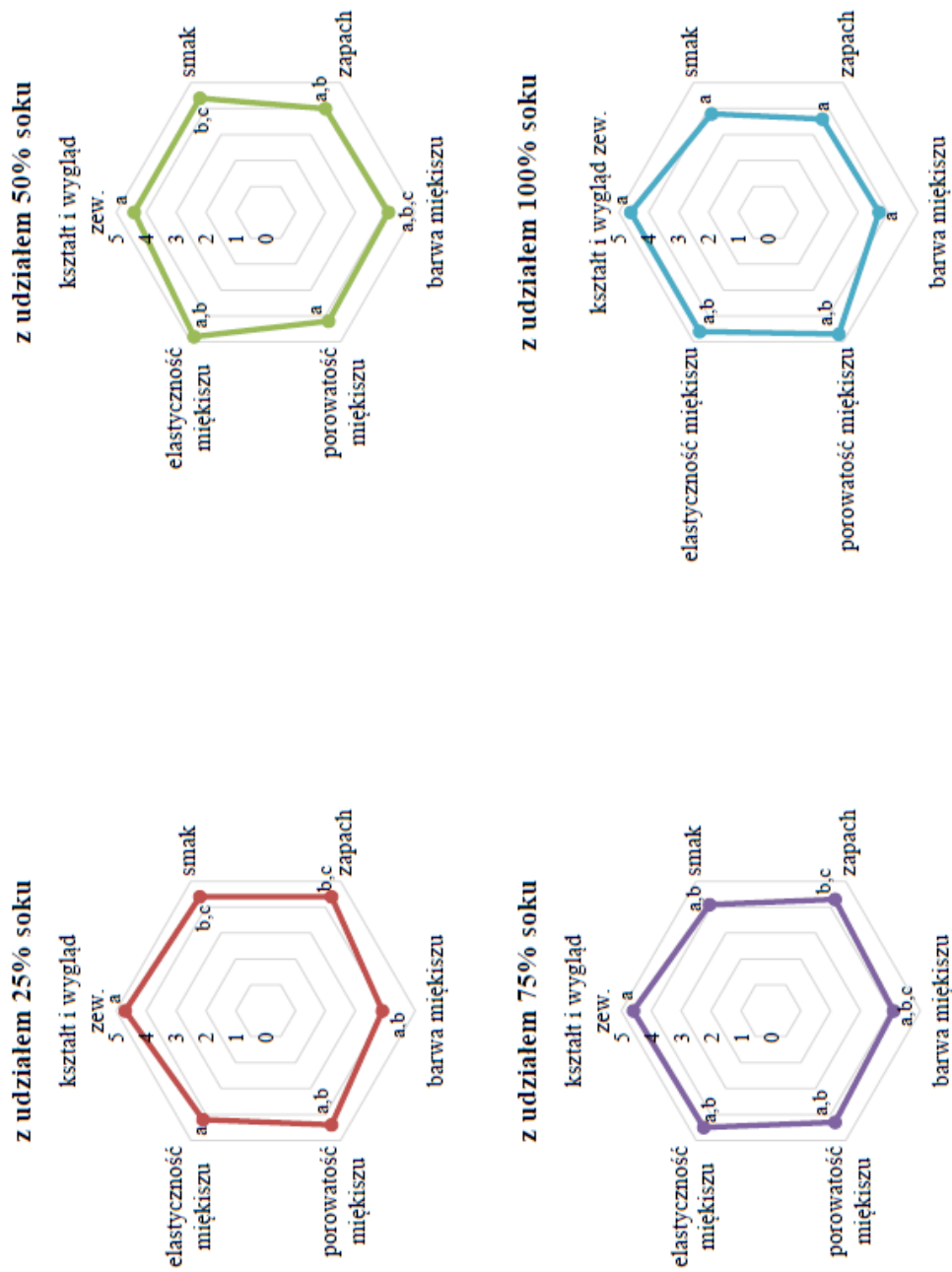
Barwa miękkiszu badanego pieczywa pszenno-owsianego była istotnie uzależniona od rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w mieszance wypiekowej (tabela 64).

W związku z ciemną barwą badanych dodatków po wprowadzeniu ich do receptury uzyskano pociemnienie miękiszu wyrobów gotowych w porównaniu z miękiszem chleba próby kontrolnej (67,93). Zanotowano stopniowe zwiększanie średnich wartości parametru a^* (maksymalnie o 21 jednostek dla prób z sokiem) i zmniejszanie wartości parametru b^* (maksymalnie o 2 jednostki) (tabela 64). Udział dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego spowodował także stopniową zmianę barwy miękiszu z jasnej, żółtej w kierunku różowoczerwonej (fotografie 16-18, załącznik 15). W badaniach chlebów z dodatkiem wytlóków zanotowano znaczący wzrost wartości parametru b^* , co wskazało na większy udział składowej barwy żółtej w barwie miękiszu tych chlebów. W przypadku bezwzględnej różnicy barwy (ΔE^*) odnotowano zwiększenie jej wartości w obrębie każdego dodatku na bazie korzenia buraka ćwikłowego w miarę stopniowego zwiększania jego udziału w recepturze chleba. Wartości tego parametru były w granicach od 9,54 do 36,96, co pozwoliło stwierdzić, że różnice w barwie miękiszu chleba kontrolnego i chlebów badanych były duże i odbierane jako różne barwy. Podobne zależności zmiany barwy miękiszu pod wpływem dodatku warzywnego do uzyskanych w badaniach własnych (tabela 64) zanotowali Kohajdova i in. (2018) w badaniach chlebów z proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego.

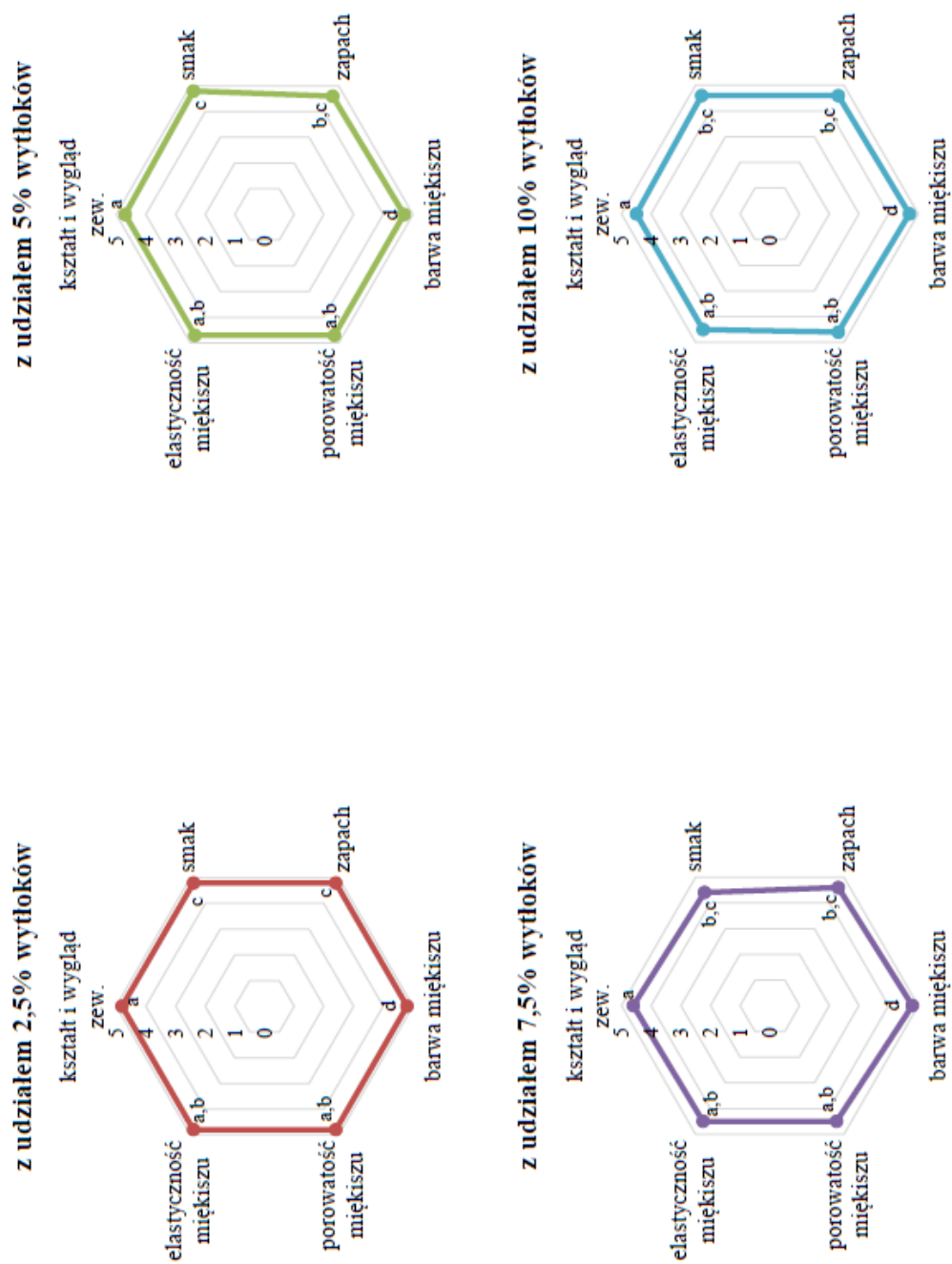
Chleby pszenno-owsiane poddano także ocenie organoleptycznej metodą 5-punktową oraz ocenie konsumenckiej, a wyniki przedstawiono na wykresach od 3a do 3h.



Wykres 3a. Wyniki oceny organoleptycznej chleba pszenno-owsianego – próba kontrolna

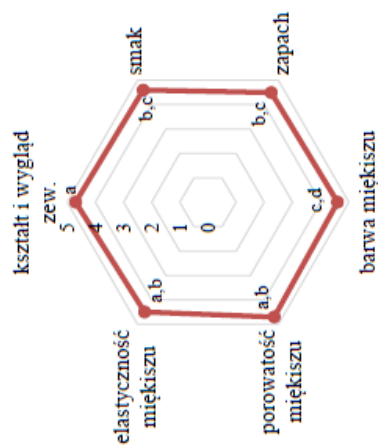


Wykres 3b. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego

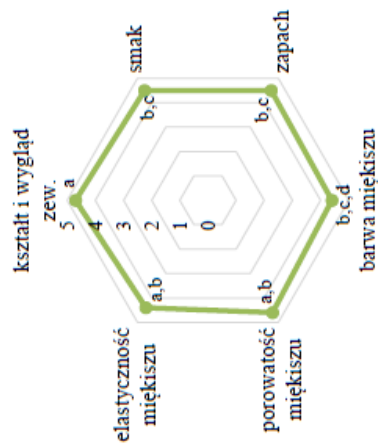


Wykres 3c. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych wytlókami z korzenia buraka ćwikłowego

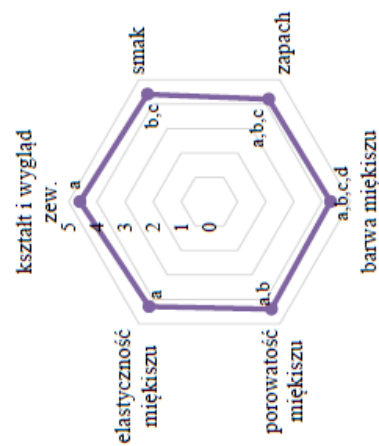
z udziałem 2,5% proszku



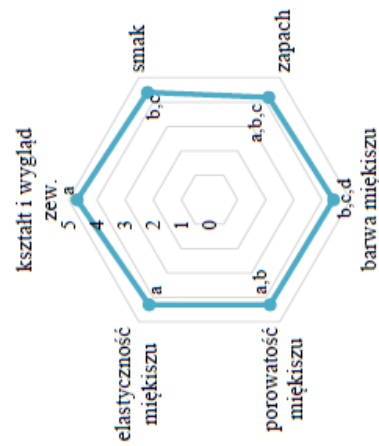
z udziałem 5% proszku



z udziałem 7,5% proszku



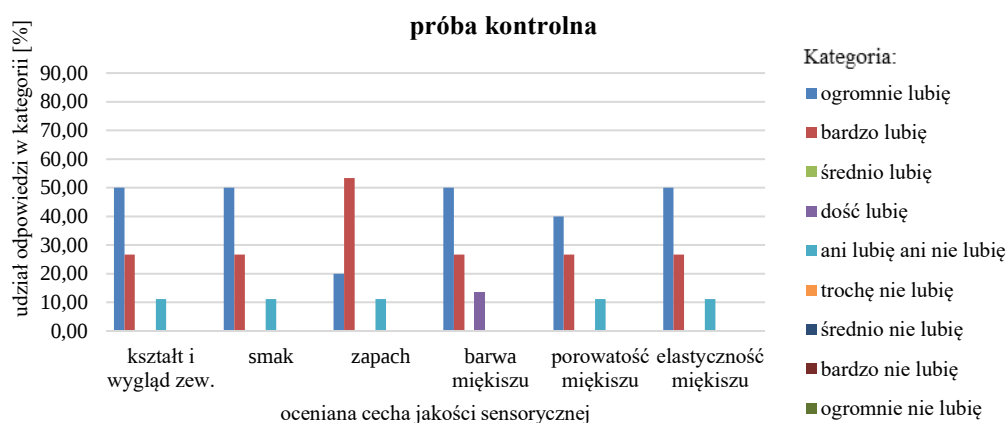
z udziałem 10% proszku



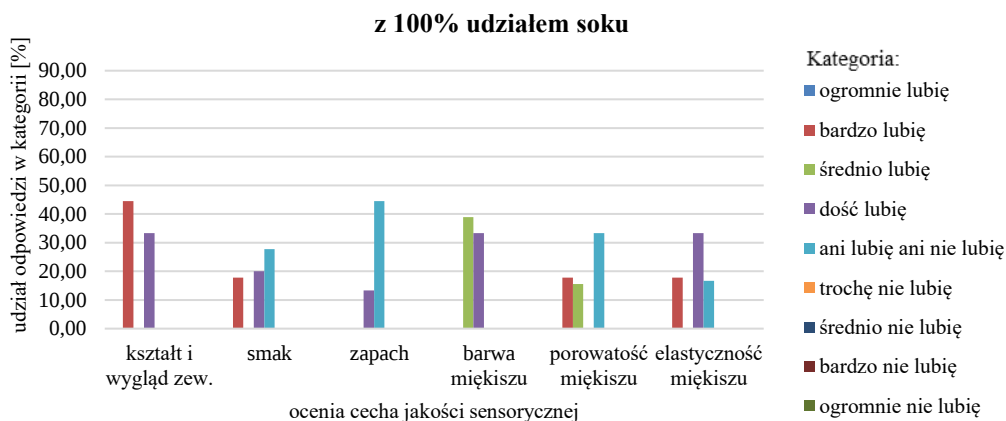
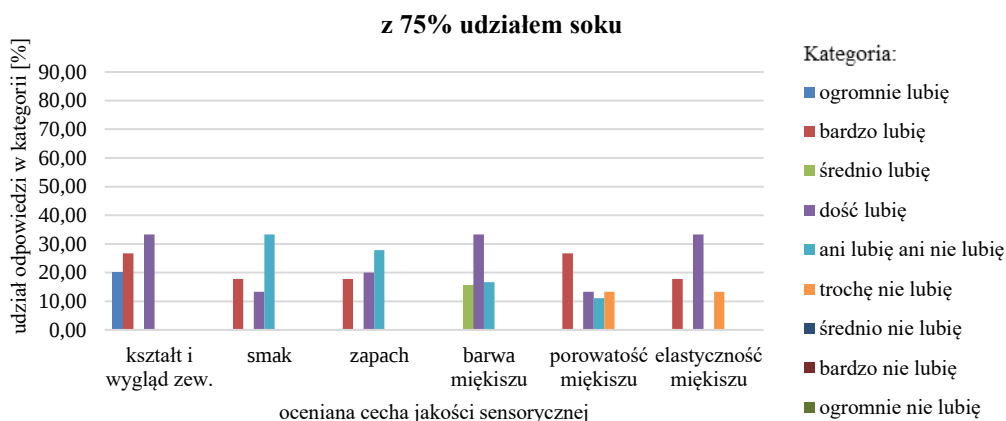
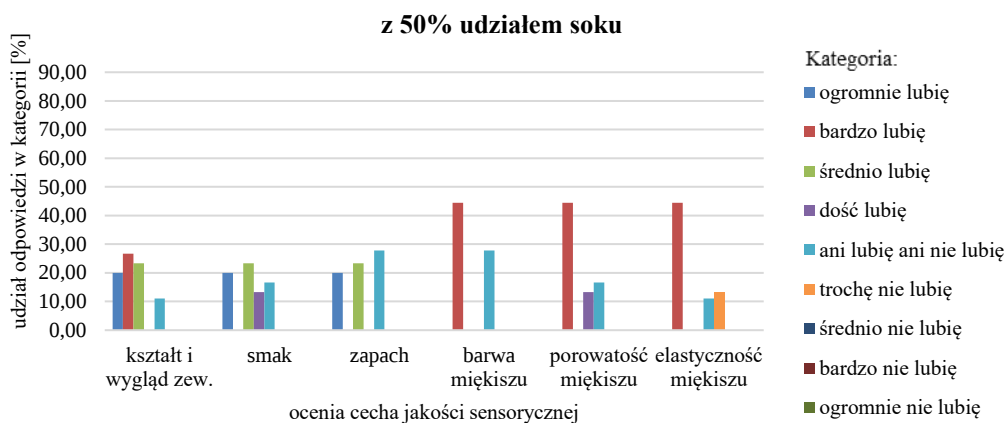
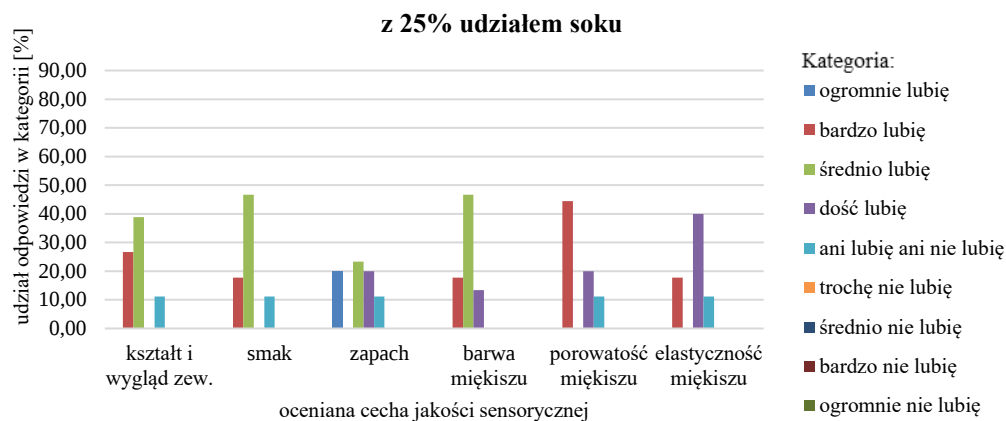
Wykres 3d. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-owsianych wzbogacanych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego

a, d – średnie wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależność pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego w cieście przy $p \leq 0,05$;

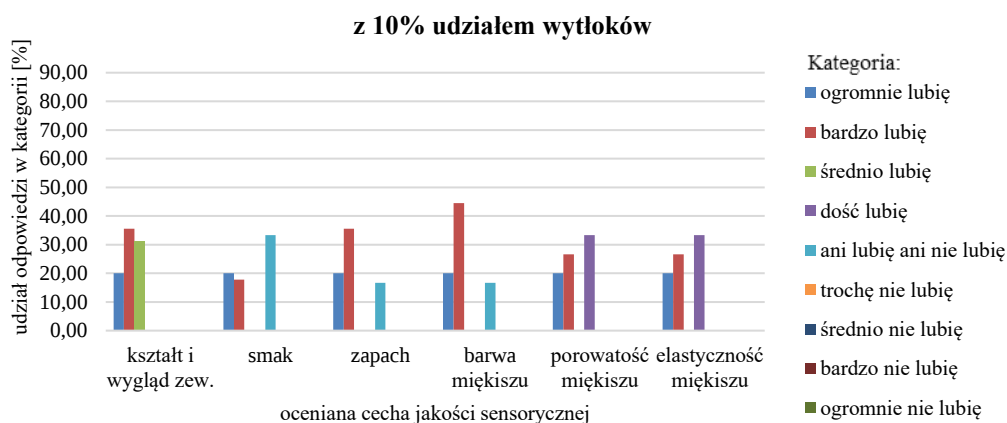
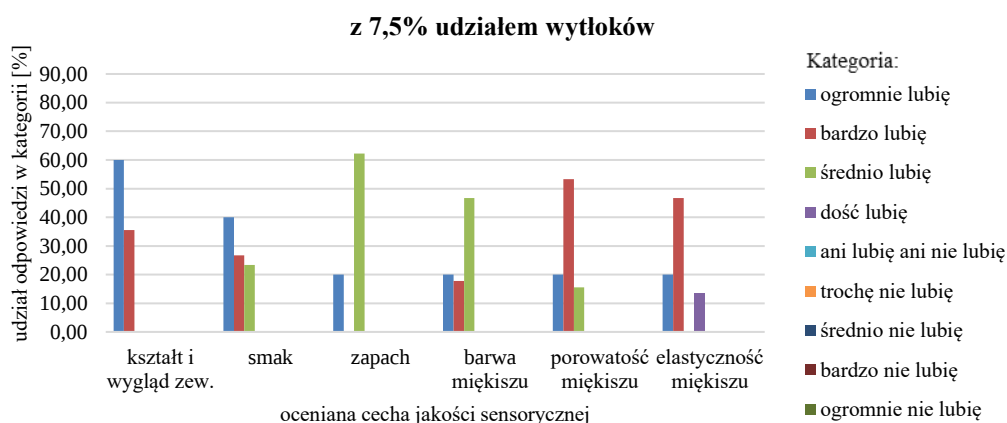
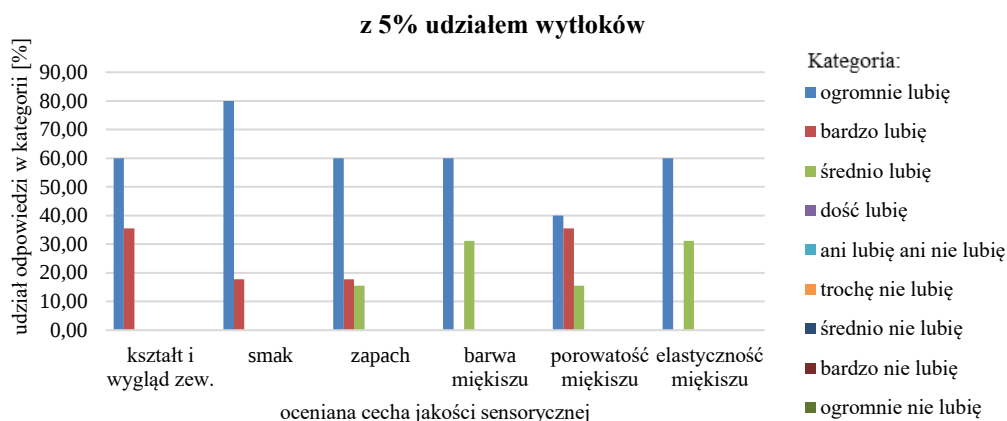
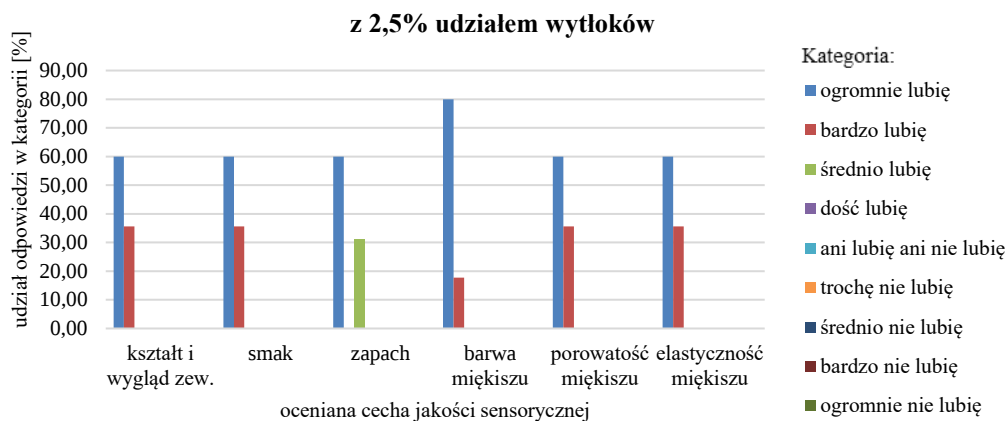
W ocenie 5-punktowej ankietowani przyznali bardzo wysokie noty dla badanych wariantów wzbogaconych chlebów pszenno-owsianych, które w większości były zbliżone do wartości 5,0 punktów. Chleb kontrolny (wykres 3a) został najlepiej oceniony pod względem elastyczności miękkiszu (5,0 punktów). Pozostałe wskaźniki tj. kształt i wygląd zewnętrzny, smak, zapach oraz porowatość i barwa miękkiszu uzyskały oceny około 4,8 punktów. Chleby z sokiem z korzenia buraka ćwikłowego (wykres 3b) zostały ocenione najlepiej pod względem kształtu i wyglądu zewnętrznego (bliskie 5,0 punktów), natomiast niższe noty za smak, zapach chleba i barwa jego miękkiszu (oceny poniżej 4,0 punktów). Dotyczyło to zwłaszcza wariantów z dużym (75 i 100%) udziałem soku w recepturze ciasta na chleb wzbogacony. Udziału wyłoków w ilości 2,5% w masie mieszanki wypiekowej pozwolił na wytworzenie chleba, który został bardzo dobrze oceniony przez ankietowanych (wykres 3c), gdyż każdy z ocenianych wyróżników uzyskał notę 5,0 punktów. W miarę zwiększania udziału wyłoków w chlebie istotnemu zróżnicowaniu uległy tylko oceny smaku tego rodzaju chleba. Oceny respondentów dotyczące wyróżników jakości chleba pszenno-owsianego z proszkiem były w granicach od 4,0 do 4,8 (wykres 3d). Istotne różnice zanotowano tylko dla wyników oceny zapachu chleba i barwy miękkiszu. Zbliżone wartości oceny organoleptycznej do uzyskanych w omawianych badaniach zanotowali także Lucky i in. (2020), Kampuse i in. (2015), Kawka i in. (2010), czy Tolve i in. (2021).



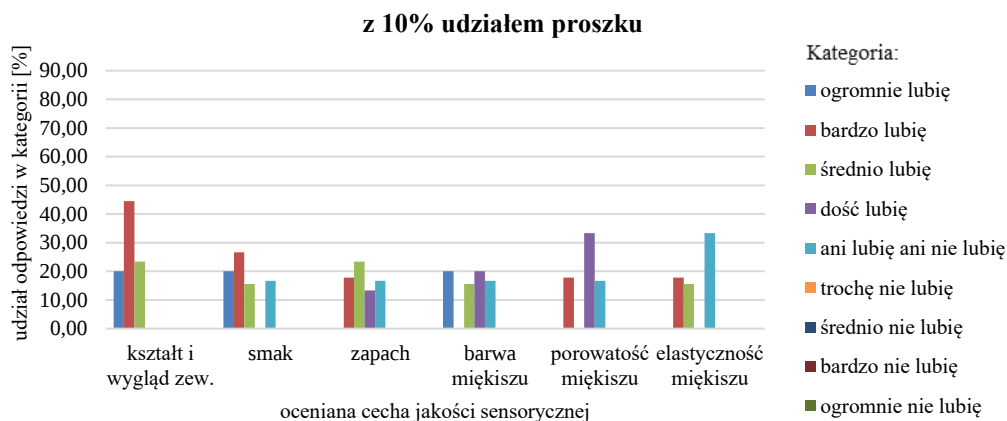
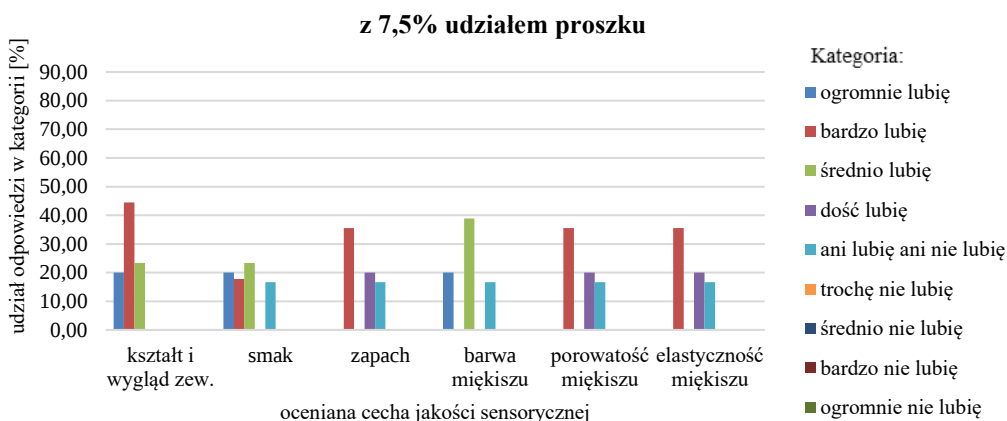
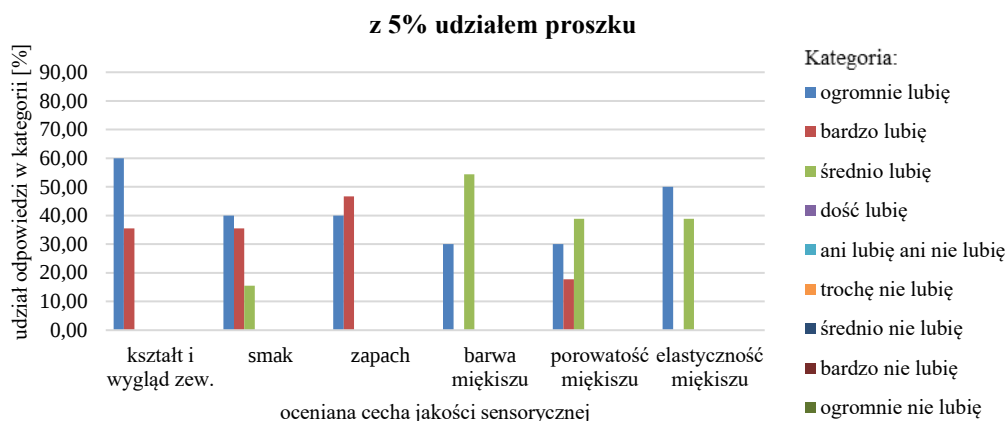
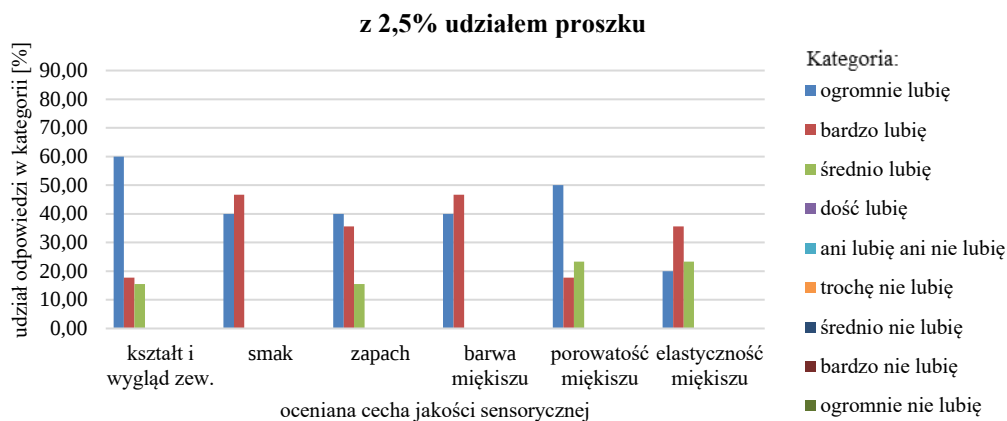
Wykres 3e. Wyniki oceny konsumenckiej chleba pszenno-owsianego (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 3f. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-owsianych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego



Wykres 3g. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-owsianych z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego



Wykres 3h. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-owsianych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego

Wśród wyróżników jakości sensorycznej chlebów pszenno-owsianych respondenci najkorzystniej ocenili ich kształt i wygląd zewnętrzny, smak, zapach i barwę miękiszu (wykresy 3e-3h). W mniejszym stopniu zadowalająca była porowatość i elastyczność miękiszu badanego pieczywa z dodatkami buraczanymi. Ocena konsumentka wykazała zróżnicowanie w akceptowalności wybranych cech jakości sensorycznej chlebów pszenno-owsianych. W większości badane pieczywo otrzymało oceny w kategoriach „ogromnie lubię” i „bardzo lubię”. Jedynie chleby z ciasta z 50% i 75% udziałem soku w miejsce wody uzyskały oceny elastyczności miękiszu w kategorii „trochę nie lubię”. Chleby z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego cechowało się bardzo wysoką akceptowalnością konsumentką, gdyż w większości uzyskało oceny w kategoriach: „ogromnie lubię”, „bardzo lubię” i „średnio lubię”. Podobnie zostało ocenione pieczywo wzbogacone z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.

Całościowa ocena sensoryczna pokazała, że w przypadku pieczywa pszenno-owsianego wzbogacenie w dodatki na bazie buraka ćwikłowego może być korzystnym zabiegiem poprawiającym atrakcyjność sensoryczną badanych chlebów pszenno-owsianych.

4.2.3.2. Wartość odżywcza i prozdrowotna chlebów pszenno-owsianych z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Wartość odżywczą i prozdrowotną pieczywa pszenno-owsianego z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego zbadano poprzez wykonanie analiz chemicznych zawartości składników odżywczych, błonnika, barwników betalainowych, polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej.

Wartość energetyczną i zawartość podstawowych składników chemicznych tj. białka, tłuszczu, węglowodanów ogółem i błonnika pokarmowego, całkowitego przedstawiono w tabeli 65, natomiast w tabeli 39 (strona 130) przedstawiono ogólną wartość odżywczą chleba pszenno-owsianego obliczoną na podstawie tabel wartości odżywczej IŻŻ w Warszawie (Kunachowicz i in. 2020).

Tabela 65. Wartość odżywcza badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Zawartość w 100 g świeżego chleba					
		Wartość energetyczna		Białko ogółem [g]	Tłuszcz ogółem [g]	Węglowodany ogółem [g]	Błonnik pokarmowy [g]
		kcal	kJ				
Próba kontrolna (bez dodatków)		233,46 ^{d,e} ±2,34	978,32 ^{d,e} ±9,81	7,87 ^{d,e} ±0,08	2,74 ^{d,e} ±0,03	45,24 ^{d,e} ±0,45	3,08 ^{d,e} ±0,03
Z udziałem soku	25%	231,08 ^{b,c,d} ±4,72	968,35 ^{b,c,d} ±19,77	7,79 ^{b,c,d} ±0,16	2,71 ^{b,c,d} ±0,06	44,78 ^{b,c,d} ±0,91	3,05 ^{b,c,d} ±0,06
	50%	230,89 ^{b,c,d} ±1,30	967,55 ^{b,c,d} ±5,46	7,78 ^{b,c,d} ±0,04	2,71 ^{b,c,d} ±0,02	44,74 ^{b,c,d} ±0,25	3,04 ^{b,c,d} ±0,02
	75%	227,13 ^{b,c} ±5,02	951,79 ^{b,c} ±21,04	7,65 ^{b,c} ±0,17	2,66 ^{b,c} ±0,06	44,01 ^{b,c} ±0,97	3,00 ^{b,c} ±0,07
	100%	220,59 ^a ±4,58	924,38 ^a ±19,21	7,43 ^a ±0,15	2,59 ^a ±0,05	42,74 ^a ±0,89	2,91 ^a ±0,06
Z udziałem wyłóków	2,5%	235,93 ^{d,e,f} ±0,46	988,64 ^{d,e,f} ±1,91	7,95 ^{d,e,f} ±0,02	2,77 ^{d,e,f} ±0,01	45,72 ^{d,e,f} ±0,09	3,11 ^{d,e,f} ±0,01
	5%	233,88 ^{d,e} ±2,00	980,08 ^{d,e} ±8,39	7,88 ^{d,e} ±0,07	2,74 ^{d,e} ±0,02	45,32 ^{d,e} ±0,39	3,08 ^{d,e} ±0,03
	7,5%	237,87 ^{e,f} ±1,21	996,79 ^{e,f} ±5,07	8,02 ^{e,f} ±0,04	2,79 ^{e,f} ±0,01	46,09 ^{e,f} ±0,23	3,14 ^{e,f} ±0,02
	10%	241,59 ^f ±6,97	1012,38 ^f ±29,21	8,14 ^f ±0,23	2,83 ^f ±0,08	46,81 ^f ±1,35	3,19 ^f ±0,09
Z udziałem proszku	2,5%	224,96 ^{a,b} ±3,96	942,70 ^{a,b} ±16,58	7,58 ^{a,b} ±0,13	2,64 ^{a,b} ±0,05	43,59 ^{a,b} ±0,77	3,97 ^g ±0,05
	5%	231,80 ^{c,d,e} ±0,38	971,33 ^{c,d,e} ±1,59	7,81 ^{c,d,e} ±0,01	2,72 ^{c,d,e} ±0,00	44,92 ^{c,d,e} ±0,07	4,60 ^h ±0,01
	7,5%	226,47 ^{b,c} ±0,38	949,03 ^{b,c} ±1,57	7,63 ^{b,c} ±0,01	2,65 ^{b,c} ±0,00	43,88 ^{b,c} ±0,07	4,99 ^{h,i} ±0,00
	10%	226,54 ^{a,b,c} ±2,61	949,30 ^{a,b,c} ±10,95	7,63 ^{a,b,c} ±0,09	2,66 ^{a,b,c} ±0,03	43,90 ^{a,b,c} ±0,51	5,60 ^j ±0,03
Dwuczynnikowa ANOVA-p							
czynnik 1		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2		0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126
czynnik 1 x czynnik 2		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$.

Badane pieczywo pszenno-owsiane po wprowadzeniu do jego składu dodatków na bazie buraka ćwikłowego wykazało istotne zróżnicowanie wartości odżywczej w zależności od rodzaju dodatku oraz wpływu jego powiązania z wielkością udziału w recepturze chleba. Nie zanotowano istotnego wpływu wielkości udziału na uzyskaną wartość odżywczą badanego pieczywa. Pieczywo to ze względu na udział w recepturze mąki owsianej było dobrym źródłem białka, tłuszczu oraz błonnika pokarmowego. Dodatkowo wprowadzenie dodatków z korzenia buraka ćwikłowego (szczególnie soku lub proszku) wpłynęło na zmniejszenie zawartości

węglowodanów, co też spowodowało zmniejszenie kaloryczności badanych chlebów. Najmniejszą wartość energetyczną wykazał wariant ze 100% udziałem soku buraczanego, było to o 10 kcal i 40 kJ mniej niż wynik wartości energetycznej próby kontrolnej (233,46 kcal; 978,32 kJ). W porównaniu z wyznaczoną na podstawie tabel wartości odżywczej IŻŻ w Warszawie (tabela 39) wartość energetyczna badanych chlebów pszenno-owsianych (tabela 65) była mniejsza średnio o 40 kcal i 180 kJ. Podobne wartości do zanotowanych w badaniach własnych (tabela 65) uzyskali także Radovanovic i in. (2014) w badaniach chleba z proszkiem z kwiatostanu karczocha.

Zawartość białka była istotnie zróżnicowana ze względu na rodzaj dodatku buraczanego. Największe wartości zanotowano dla wariantów z udziałem wytlóków buraczanych. Dla tego pieczywa ilość tego składnika odżywczego przekroczyła 8 g/100 g świeżego chleba. Podobne istotne zależności zaobserwowano dla pozostałych składników chemicznych. Zastosowane wzbogacenie pieczywa w dodatki z korzenia buraka ćwikłowego spowodowało zmniejszenie zawartości węglowodanów oraz zwiększenie zawartości błonnika pokarmowego oraz tłuszczu, które było niewielkie, ale istotnie statystycznie. Radovanovic i in. (2014) w badaniach chleba z proszkiem z kwiatostanu karczocha zanotowali podobną zawartość białka i węglowodanów, jednak większą ilość błonnika pokarmowego w porównaniu do badań własnych (tabela 65).

W tabelach 66-69 przedstawiono wyniki koncentracji betalain w skórce lub miększu badanych chlebów pszenno-owsianych z udziałem soku, wytlóków i proszku z korzenia buraka ćwikłowego.

Tabela 66. Zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 100 g ś.m. skórki]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 100 g ś.m. skórki]	Betalainy ogółem [mg/100 g ś.m. skórki]
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,93	22,54	–	–	–
Z udziałem soku	25%	31,62	21,97	2,731 ^f ±0,008	2,628 ^f ±0,000	5,358 ^f ±0,008
	50%	31,78	22,09	3,286 ^g ±0,000	3,395 ^g ±0,005	6,681 ^g ±0,005
	75%	31,56	21,43	5,478 ^k ±0,008	5,302 ^k ±0,005	10,780 ^k ±0,013
	100%	31,76	20,77	9,384 ^l ±0,000	8,368 ^l ±0,000	17,753 ^l ±0,000
Z udziałem wytlóków	2,5%	31,98	22,86	0,846 ^b ±0,000	0,904 ^a ±0,005	1,750 ^b ±0,005
	5%	32,31	22,91	0,693 ^a ±0,008	0,921 ^b ±0,005	1,614 ^a ±0,013
	7,5%	32,06	23,15	1,027 ^c ±0,000	1,330 ^c ±0,005	2,358 ^c ±0,005
	10%	31,74	23,28	1,844 ^d ±0,000	2,034 ^d ±0,005	3,878 ^d ±0,005
Z udziałem proszku	2,5%	32,70	22,16	2,392 ^e ±0,000	2,400 ^e ±0,000	4,791 ^e ±0,000
	5%	32,54	22,85	3,295 ^h ±0,008	3,390 ^h ±0,000	6,686 ^h ±0,008
	7,5%	32,60	22,27	4,225 ⁱ ±0,000	4,265 ⁱ ±0,000	8,490 ⁱ ±0,000
	10%	32,57	22,25	4,482 ^j ±0,002	4,952 ^j ±0,000	9,434 ^j ±0,008
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka.

Zawartość barwników betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-owsianych była istotnie zróżnicowana pod względem rodzaju zastosowanego dodatku buraczanego oraz wielkości jego udziału w recepturze chleba (tabela 66, wykres 73, załącznik 19). W skórce badanego pieczywa dla większości wariantów dominowały betalainy fioletowe. Wyjątkiem były chleby z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego, gdzie stwierdzono większą zawartość barwników żółtych (średnio o 0,2 mg/100 g ś.m.). Najwięcej betalain stwierdzono w skórce chlebów: z 75% i 100% udziałem soku oraz z 7,5% i 10% udziałem proszku buraczanego. Dla tych prób zanotowano wartości od 8,5 do nawet 18 mg w 100 g ś.m. skórki. Większą zawartość od zanotowanej w badaniach własnych (tabela 66) dla barwników betalainowych uzyskali Cui i in. (2022) w badaniach tradycyjnych chińskich chlebów wytwarzanych na parze z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego. Autorzy ci w gotowym produkcie przy 10% udziale proszku buraczanego zanotowali zawartość betaniny (należącą do barwników fioletowych) wynoszącą średnio 31 mg/ 100 g suchej masy chleba.

Oszacowaną zawartość zidentyfikowanych związków betalainowych w skórce wzbogacanego pieczywa przedstawiono w tabeli 67. Szczegółowy profil tych związków przedstawiono w tabeli 42 na stronie 134.

Zawartość zidentyfikowanych związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-owsianych była istotnie zróżnicowana pod względem rodzaju zastosowanego dodatku buraczanego oraz wielkości jego udziału w cieście (tabela 67). Próby z udziałem soku buraczanego posiadały pełny profil zidentyfikowanych związków. Dominującymi były 5-O-glukozyd betanidyny i 17-dekarboksy-betanina. W przypadku prób z wyłokami istotne ilości wszystkich zidentyfikowanych związków betalainowych stwierdzono dla 7,5 i 10% udziału w cieście. W przypadku skórki chleba z 5% udziałem tego dodatku zidentyfikowano wyłącznie 5-O-glukozyd betanidyny i 17-dekarboksy-betaninę. Wariant z 2,5% udziałem wyłoków posiadał zawartości zidentyfikowanych związków poniżej progu oznaczalności. Natomiast próby z udziałem proszku buraczanego charakteryzowały się podobnym układem zawartości związków betalainowych jak warianty z sokiem. Wyjątkiem była skórka chleba z 2,5% udziałem tego dodatku, gdzie 2-dekarboksy-betanina występowała tylko w nieistotnych, śladowych ilościach. Zawartości pozostałych zidentyfikowanych związków betalainowych dla tej próby zawierały się w granicach od 0,444 do 1,164 mg/100 g ś.m. skórki.

Tabela 67. Oszacowana zawartość związków betalainowych w skórce chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. skórki]

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Suma betalain
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,93	22,54	–	–	–	–	–	–	–
Z udziałem soku	25%	31,62	21,97	1,261 ^e ±0,038	1,012 ^d ±0,021	1,571 ^f ±0,003	0,362 ^c ±0,001	0,338 ^c ±0,025	0,813 ^c ±0,003	5,358 ^e ±0,008
	50%	31,78	22,09	2,207 ^g ±0,069	1,069 ^{d,e} ±0,005	1,816 ^g ±0,018	0,417 ^{d,e} ±0,005	0,360 ^c ±0,001	0,813 ^c ±0,063	6,681 ^f ±0,005
	75%	31,56	21,43	3,636 ⁱ ±0,035	1,836 ^g ±0,056	2,629 ⁱ ±0,010	0,624 ^g ±0,008	0,555 ^d ±0,002	1,500 ^g ±0,021	10,780 ⁱ ±0,013
	100%	31,76	20,77	6,382 ^j ±0,078	3,432 ⁱ ±0,104	4,668 ^j ±0,074	0,769 ^h ±0,115	0,700 ^f ±0,002	1,801 ^h ±0,064	17,753 ^j ±0,000
Z udziałem wytlóków	2,5%	31,98	22,86	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	5%	32,31	22,91	0,565 ^b ±0,003	<LOQ	1,049 ^b ±0,003	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,614 ^a ±0,013
	7,5%	32,06	23,15	0,435 ^a ±0,007	0,411 ^a ±0,013	0,799 ^a ±0,013	0,211 ^a ±0,003	0,118 ^a ±0,000	0,384 ^a ±0,035	2,358 ^b ±0,005
	10%	31,74	23,28	0,879 ^c ±0,004	0,535 ^b ±0,035	1,292 ^c ±0,023	0,290 ^b ±0,001	0,271 ^b ±0,009	0,610 ^b ±0,000	3,878 ^c ±0,005
Z udziałem proszku	2,5%	32,70	22,16	1,164 ^d ±0,003	0,688 ^c ±0,021	1,397 ^d ±0,045	0,444 ^{e,f} ±0,015	<LOQ	1,098 ^d ±0,035	4,791 ^d ±0,000
	5%	32,54	22,85	1,873 ^f ±0,087	1,110 ^e ±0,038	1,505 ^e ±0,027	0,403 ^{d,e} ±0,033	0,617 ^e ±0,019	1,178 ^e ±0,036	6,686 ^f ±0,008
	7,5%	32,60	22,27	2,257 ^g ±0,018	1,579 ^f ±0,033	1,989 ^h ±0,003	0,660 ^g ±0,021	0,792 ^g ±0,035	1,214 ^e ±0,040	8,490 ^g ±0,000
	10%	32,57	22,25	3,179 ^h ±0,054	2,074 ^h ±0,070	1,581 ^f ±0,028	0,511 ^f ±0,021	0,687 ^f ±0,044	1,402 ^f ±0,023	9,434 ^h ±0,008
Dwuczynnikowa ANOVA-p										
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

[1]- 5-O-glukozyd betanidyny (betanina)

[2]- 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina)

[3]- 17-dekarboksy-betanina

[4]- 17-dekarboksy-neobetanina

[5]- 2-dekarboksy-betanina

[6]- 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka; <LOQ - śladowa ilość (poniżej prognoznaczalności, ang. limit of quantification).

W tabelach 68 i 69 przedstawiono zawartość związków betalainowych w miększu chlebów pszenno-owsianych.

Tabela 68. Zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa miększu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miększu [%]	Betalainy fioletowe [mg betacyjaniny/ 100 g ś.m. miększu]	Betalainy żółte [mg betaksantyny/ 100 g ś.m. miększu]	Betalainy ogółem [mg/100 g ś.m. miększu]
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,96	45,07	–	–	–
Z udziałem soku	25%	179,20	43,94	1,520 ^e ±0,000	1,586 ^e ±0,000	3,106 ^e ±0,000
	50%	180,06	44,18	2,632 ⁱ ±0,006	2,717 ^h ±0,000	5,349 ^h ±0,006
	75%	178,82	42,85	3,244 ^j ±0,000	3,328 ^j ±0,004	6,571 ⁱ ±0,004
	100%	180,00	41,54	5,224 ⁱ ±0,000	4,946 ⁱ ±0,004	10,170 ^k ±0,004
Z udziałem wytlóków	2,5%	181,20	45,72	0,679 ^c ±0,000	0,718 ^b ±0,004	1,397 ^c ±0,004
	5%	183,09	45,81	0,563 ^b ±0,005	0,728 ^c ±0,004	1,291 ^b ±0,009
	7,5%	181,65	46,29	0,471 ^a ±0,000	0,683 ^a ±0,004	1,153 ^a ±0,004
	10%	179,84	46,56	0,783 ^d ±0,000	1,077 ^d ±0,000	1,860 ^d ±0,000
Z udziałem proszku	2,5%	185,30	44,32	2,190 ^g ±0,010	1,989 ^f ±0,008	4,179 ^f ±0,017
	5%	184,38	45,70	2,077 ^f ±0,000	2,111 ^g ±0,004	4,188 ^f ±0,004
	7,5%	184,72	44,53	2,373 ^h ±0,006	2,749 ^j ±0,004	5,122 ^g ±0,009
	10%	184,54	44,49	3,392 ^k ±0,000	3,772 ^k ±0,004	7,165 ^j ±0,004
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miększ stanowił 85% średniej masy bochenka.

Zawartość barwników betalainowych w miększu badanych chlebach pszenno-owsianych była istotnie zróżnicowana pod względem rodzaju zastosowanego dodatku buraczanego oraz wielkości jego udziału w cieście (tabela 68, wykres 72, załącznik 19). Miększ pieczywa z udziałem soku cechował się wyższą koncentracją barwników fioletowych niż żółtych, była to maksymalnie o 1,5 mg większa zawartość w 100 g ś.m. niż dla zastosowania pozostałych badanych produktów wzbogacających. Natomiast w miększach chlebów z udziałem wytlóków i proszku buraczanego stwierdzono odwrotną zależność. Pieczywem o wysokiej ogólnej ilości betalain w miększu były próby z udziałem soku buraczanego powyżej 50% jego ilości zastępującej wodę w cieście oraz z 7,5 i 10% udziałem proszku w recepturze chleba. Miększe tych wariantów pieczywa posiadały powyżej 5 mg/100 g ś.m. betalain ogółem. Bouazizi i in. (2020) dla ciastek z udziałem proszku z owoców opuncji figowej zanotowali natomiast zawartość barwników fioletowych wynoszącą średnio 29 mg betacyjaniny/100 g s.m., barwników żółtych

odpowiednio 20 mg betaksantyny/100g s.m. i ogólną ilość betalain bliską 50 mg w 100 g suchej masy. Wartości te były ponad połowę większe od uzyskanych w badaniach własnych (tabela 68).

Oszacowane zawartości zidentyfikowanych związków betalainowych w miększu pieczywa pszenno-owsianego z udziałem dodatków z korzenia buraka ćwikłowego przedstawiono w tabeli 69. Profil tych związków przedstawiono w tabeli 42 na stronie 134.

Zawartość zidentyfikowanych barwników betalainowych w miększu chleba pszenno-owisanego była istotnie zróżnicowana pod wpływem rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w cieście (tabela 69). Wyjątkiem były próby z 2,5 i 5% udziałem wycieków, w których związki betalainowe występowały w śladowych ilościach, poniżej progu oznaczalności. Głównym zidentyfikowanym związkiem był 5-O-glukozyd betanidyny (betanina), którego zawartość dochodziła do 5,023 mg/100 g ś.m. miększu dla próby ze 100% udziałem soku w recepturze. Ponadto w ilościach przekraczających 1 mg/100 g ś.m. zidentyfikowano 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina) i 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetaninę.

Tabela 69. Oszacowana zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. miększu]

Badane pieczywo		Masa miększu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miększu [%]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Suma betalain
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,96	45,07	–	–	–	–	–	–	–
Z udziałem soku	25%	179,20	43,94	1,125 ^c ±0,014	0,554 ^b ±0,005	<LOQ	<LOQ	0,491 ^{b,c} ±0,020	0,936 ^c ±0,011	3,106 ^c ±0,000
	50%	180,06	44,18	2,286 ^g ±0,005	0,690 ^c ±0,029	0,108 ^a ±0,000	0,097 ^b ±0,003	0,531 ^c ±0,036	1,637 ^f ±0,055	5,349 ^f ±0,006
	75%	178,82	42,85	3,158 ⁱ ±0,051	1,042 ^e ±0,075	0,080 ^a ±0,001	0,091 ^b ±0,045	0,512 ^{b,c} ±0,018	1,688 ^f ±0,039	6,571 ^g ±0,004
	100%	180,00	41,54	5,023 ^j ±0,063	1,824 ^g ±0,065	0,196 ^b ±0,149	0,044 ^a ±0,000	0,705 ^e ±0,024	2,375 ^g ±0,170	10,170 ⁱ ±0,004
Z udziałem wytlóków	2,5%	181,20	45,72	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	5%	183,09	45,81	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	7,5%	181,65	46,29	0,433 ^a ±0,015	0,198 ^a ±0,007	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,522 ^a ±0,008	1,153 ^a ±0,004
	10%	179,84	46,56	0,726 ^b ±0,001	0,216 ^a ±0,004	<LOQ	<LOQ	0,216 ^a ±0,006	0,702 ^b ±0,011	1,860 ^b ±0,000
Z udziałem proszku	2,5%	185,30	44,32	1,440 ^e ±0,051	0,571 ^b ±0,017	0,431 ^c ±0,007	0,249 ^d ±0,026	<LOQ	1,488 ^e ±0,053	4,179 ^d ±0,017
	5%	184,38	45,70	1,295 ^d ±0,041	0,715 ^c ±0,036	0,209 ^b ±0,003	0,119 ^b ±0,001	0,483 ^b ±0,059	1,367 ^d ±0,049	4,188 ^d ±0,004
	7,5%	184,72	44,53	1,752 ^f ±0,007	0,928 ^d ±0,004	0,203 ^b ±0,031	0,203 ^c ±0,000	0,610 ^d ±0,016	1,425 ^{d,e} ±0,043	5,122 ^e ±0,009
	10%	184,54	44,49	3,024 ^h ±0,046	1,375 ^f ±0,002	0,281 ^b ±0,009	0,189 ^c ±0,054	0,626 ^d ±0,010	1,670 ^f ±0,029	7,165 ^h ±0,004
Dwuczynnikowa ANOVA-p										
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

[1]- 5-O-glukozyd betanidyny (betanina)

[2]- 5-O-glukozyd izobetanidyny (izobetanina)

[3]- 17-dekarboksy-betanina

[4]- 17-dekarboksy-neobetanina

[5]- 2-dekarboksy-betanina

[6]- 2,17-didekarboksy-2,3-dehydro-neobetanina

a..j – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miększ stanowił 85% średniej masy bochenka; <LOQ – śladowa ilość (poniżej prognoznaczalności, ang. limit of quantification).

Wzbogacane korzeniem buraka ćwikłowego pieczywo oprócz nadającym mu barwę betalainom powinno posiadać także inne substancje o charakterze biologicznie aktywnym. Ich poziom oraz siłę zmiatania wolnych rodników w badanych chlebach pszenno-owsianych zmierzono w analizach zawartości polifenoli ogółem oraz aktywności przeciwutleniającej metodą ABTS i DPPH. Wyniki dla skórki i miększu przedstawiono w tabelach 70 i 71.

Tabela 70. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca skórki badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa skórki w badanym chlebie* [g]	Wilgotność skórki [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/100 g ś.m. skórki]	Aktywność przeciwutleniająca [μmol Trolox/100 g ś.m. skórki]	
					metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH ⁺
Próba kontrolna (bez dodatków)		31,93	22,54	36,39 ^a ±0,25	433,75 ^a ±12,60	33,99 ^a ±0,40
Z udziałem soku	25%	31,62	21,97	38,21 ^b ±0,13	444,89 ^a ±6,37	60,84 ^d ±0,40
	50%	31,78	22,09	48,27 ^f ±0,67	501,08 ^b ±4,68	67,27 ^e ±1,20
	75%	31,56	21,43	60,76 ^h ±0,22	622,49 ^d ±13,98	85,57 ^g ±0,61
	100%	31,76	20,77	87,59 ^k ±0,26	818,78 ⁱ ±7,81	99,15 ^h ±2,15
Z udziałem wyciągów	2,5%	31,98	22,86	42,52 ^c ±0,22	593,63 ^c ±4,61	49,32 ^b ±0,00
	5%	32,31	22,91	43,19 ^{c,d} ±0,13	624,02 ^e ±6,29	54,04 ^c ±1,21
	7,5%	32,06	23,15	43,95 ^d ±0,25	699,68 ^g ±4,59	59,91 ^d ±0,23
	10%	31,74	23,28	46,11 ^e ±0,45	760,77 ^h ±7,96	65,81 ^e ±0,99
Z udziałem proszku	2,5%	32,70	22,16	51,13 ^g ±0,13	652,64 ^f ±3,04	80,08 ^f ±1,28
	5%	32,54	22,85	71,46 ⁱ ±2,73	733,88 ^h ±9,28	98,81 ^h ±0,61
	7,5%	32,60	22,27	75,86 ^j ±0,55	797,94 ⁱ ±4,62	104,29 ^j ±0,83
	10%	32,57	22,25	86,83 ^l ±0,25	827,78 ^j ±13,89	118,26 ^j ±1,73
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..l – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; * – przyjęto, że skórka stanowiła 15% średniej masy bochenka.

Zawartość polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej w przypadku skórki (tabela 70) badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych produktami z korzenia buraka ćwikłowego była istotnie zróżnicowana w zależności od rodzaju dodatku buraczanego i wielkości jego udziału w recepturze chleba. Każdy rodzaj dodatku buraczanego spowodował zwiększenie zawartości polifenoli ogółem oraz aktywności przeciwutleniającej skórki chleba w miarę zwiększenia jego udziału w cieście. Zawartość polifenoli ogółem dla prób z sokiem była większa o 10-20 mg GAE/100 g ś.m., dla prób z wyciągami odpowiednio o 1-2 mg GAE/100 g ś.m., natomiast dla prób z proszkiem buraczanym – o 15-20 mg GAE/100 g ś.m. skórki chleba w porównaniu z próbą kontrolną. Zależności te potwierdziła także mapa ciepła (wykres 75,

załącznik 19). Aktywność przeciwutleniająca prób badanych różniła się między sobą średnio o 100 μ mol Troloxu/100 g ś.m. wobec rodników ABTS* i o 5-10 μ mol Troloxu/100 g ś.m. wobec rodników DPPH*. Większe wartości dla badanych parametrów w porównaniu do badań własnych (tabela 70) zanotowali natomiast Cui i in. (2022) w badaniach chlebów na parze z proszkiem buraczanym oraz Pekmez i in. (2018) w badaniach chlebów „pita” z proszkiem z wyłoków z korzenia czarnej marchwi.

Tabela 71. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca miększu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego

Badane pieczywo		Masa miększu w badanym chlebie* [g]	Wilgotność miększu [%]	Polifenole ogółem [mg GAE/ 100 g ś.m. miększu]	Aktywność przeciwutleniająca [μ mol Trolox/100 g ś.m. miększu]	
					metoda z ABTS ⁺	metoda z DPPH ⁺
Próba kontrolna (bez dodatków)		180,96	45,07	22,67 ^a ±0,16	141,41 ^{a,b} ±4,35	16,74 ^a ±0,49
Z udziałem soku	25%	179,20	43,94	23,39 ^b ±0,00	163,13 ^c ±8,83	26,06 ^{d,e} ±0,17
	50%	180,06	44,18	27,71 ^f ±0,00	246,74 ^d ±10,09	33,49 ^f ±3,24
	75%	178,82	42,85	32,53 ^{g,h} ±0,25	274,51 ^e ±7,21	43,72 ^g ±0,51
	100%	180,00	41,54	35,59 ⁱ ±0,00	350,64 ^f ±10,29	55,81 ^{h,i} ±0,52
Z udziałem wyłoków	2,5%	181,20	45,72	22,80 ^a ±0,09	155,08 ^{b,c} ±7,66	21,44 ^b ±0,58
	5%	183,09	45,81	23,13 ^c ±0,00	157,74 ^c ±7,68	23,75 ^{c,d} ±0,90
	7,5%	181,65	46,29	24,13 ^d ±0,09	260,58 ^e ±4,39	23,39 ^c ±1,20
	10%	179,84	46,56	24,87 ^e ±0,09	265,63 ^e ±3,18	26,73 ^e ±0,57
Z udziałem proszku	2,5%	185,30	44,32	31,58 ^h ±0,16	461,11 ^g ±4,35	32,22 ^f ±1,43
	5%	184,38	45,70	31,47 ^g ±0,00	476,93 ^h ±7,50	52,98 ^h ±0,90
	7,5%	184,72	44,53	43,54 ⁱ ±0,09	607,79 ⁱ ±14,90	55,93 ⁱ ±0,83
	10%	184,54	44,49	54,07 ^k ±0,18	595,95 ⁱ ±12,95	70,26 ^j ±1,56
Dwuczynnikowa ANOVA-p						
czynnik 1				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001
czynnik 1 x czynnik 2				< 0,001	< 0,001	< 0,001

a..k – średnie wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 – rodzaj dodatku korzenia buraka ćwikłowego przy $p \leq 0,05$; czynnik 2 – wielkość udziału zastosowanego dodatku korzenia buraka ćwikłowego w cieście przy $p \leq 0,05$; czynnik 1 x czynnik 2 – zależności pomiędzy rodzajem dodatku korzenia buraka ćwikłowego, a wielkością jego udziału w cieście przy $p \leq 0,05$; *- przyjęto, że miększ stanowił 85% średniej masy bochenka.

Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca miększu (tabela 71) badanych chlebów pszenno-owsianych z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego była istotnie zróżnicowana w zależności od rodzaju dodatku i wielkości jego udziału w recepturze chleba. W obrębie każdego rodzaju dodatku buraczanego zwiększenie jego udziału spowodowało zwiększenie zawartości substancji biologicznie aktywnych w miększu chleba. Dla polifenoli ogółem było to średnio o 10 mg GAE w 100 g świeżej masy miększu, a dla aktywności przeciwutleniającej od 10 do nawet 100 μ mol Troloxu/100 g świeżej masy miększu w porównaniu z próbą kontrolną. Taki układ korelacji przedstawiono także mapą ciepła (wykres

74, załącznik 19). Cui i in. (2022), Pekmez i in. (2018) lub Chhikara i in. (2019a) zanotowali większe wartości w porównaniu do badań własnych (tabela 71). Autorzy ci badali m.in. chleby na parze z udziałem proszku buraczanego, chleby „pita” z proszkiem z wyciągów z korzenia czarnej marchwi lub makaron z proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy statystycznej uzyskanych wyników zostały wyciągnięte następujące wnioski:

1. Zastosowanie udziału w recepturze badanych chlebów wybranych dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego istotnie wpłynęło na czas fermentacji ciasta i ilość wytworzonych gazów przez drożdże w trakcie fermentacji ciasta.
2. Różny udział procentowy w recepturze dodatku soku, wyłoków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego znacząco wpłynął na aktywność amylolityczną użytej do wypieku mąki pszennej lub mieszanek wypiekowych (pszenno-żytniej i pszenno-owsianej).
3. Rodzaj i wielkość udziału w recepturze wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego istotnie wpłynął na wodochłonność mąki/mieszanki mąk i parametry reologiczne ciasta.
4. Rodzaj i wielkość udziału w recepturze wybranych dodatków buraczanych istotnie wpłynął na jakość badanego pieczywa pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego.
5. Rodzaj i wielkość udziału soku, wyłoków lub proszku buraczanego w recepturze badanych chlebów znacząco podnosił ich wartość prozdrowotną poprzez zwiększenie zawartości związków biologicznie aktywnych w tym barwników betalainowych.
6. Cechy organoleptyczne chleba istotnie zmieniały się pod wpływem zastosowanego rodzaju i wielkości udziału w recepturze wybranych dodatków na bazie korzenia buraka ćwikłowego.
7. Zastosowanie w recepturze chleba pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego udziału wybranych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego po wprowadzeniu modyfikacji w sposobie produkcji mogłyby być dobrym zabiegiem do stworzenia nowego rodzaju pieczywa funkcjonalnego.
8. Najlepszą matrycą do wzbogacania wybranymi dodatkami buraczanymi okazały się chleby pszenne i pszenno-owsiane.
9. Najlepsze rezultaty wykazał udział dodatku wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego pod względem korzystnego wpływu na jakość ciasta, przeprowadzenie procesu wypiekowego oraz jakość technologiczną i organoleptyczną badanego pieczywa.
10. W obrębie każdego wybranego dodatku buraczanego najkorzystniejszy był udział w połowie badanej dawki (dla soku – do 50% zastępującej wodę w recepturze chleba kontrolnego, dla wyłoków i proszku – do 5% masy mąki/mieszanki określonej recepturą chleba kontrolnego).

6. Streszczenie

Produkty zbożowe, a spośród nich pieczywo jest jednym z najłatwiejszych sposobów zapewnienia organizmowi człowieka związków odżywczych, przede wszystkim składników energetycznych – węglowodanów, a oprócz tego także pewnej ilości białka, substancji mineralnych czy witamin (m.in. z grupy B, A i E). Dla zwiększenia oferty asortymentu pieczywa dostępnego na rynku oraz poprawy wartości odżywczej tego rodzaju żywności stosowane są m.in. urozmaicenia co do technologii ich produkcji bądź wzbogacenie składu surowcowego chleba. Wymienione przesłanki były powodem wyboru korzenia buraka ćwikłowego jako dodatku do opracowania nowego rodzaju pieczywa funkcjonalnego, a które było materiałem do badań w niniejszej pracy badawczej.

Głównym celem pracy było określenie wpływu udziału w recepturze dodatku korzenia buraka ćwikłowego w postaci soku, wytlóków lub proszku na właściwości technologiczne i prozdrowotne chleba pszennego, pszenno-żytniego i pszenno-owsianego. Ponadto celem badań było wskazanie jak udział tego warzywa i w jakiej jego postaci korzystnie wpływa na walory organoleptyczne badanych chlebów.

Do wypieku pieczywa użyto mąki pszennej typ 650 oraz mieszanek tej mąki z mąką żytnią typ 720 i mąką owsianą w proporcji 4:1. Sok, wytloki i proszek z korzenia buraka ćwikłowego odmiany Czerwona Kula wyprodukowano w skali laboratoryjnej. Próby badane każdego rodzaju chlebów obejmowały trzy wspomniane dodatki wzbogacające z korzenia buraka ćwikłowego w czterech poziomach udziału procentowego w recepturze chlebów wzbogaconych. Badania surowców objęły analizy zawartości składników biologicznie aktywnych w soku, wytlókach i proszku z korzenia buraka ćwikłowego oraz szczegółowe badania jakości wypiekowej mąk/mieszanek użytych do wypieku. Szczegółową analizą objęto także półprodukty tj. ciasta kontrolne oraz ciasta z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego. Były to badania farinograficzne, ekstensograficzne, amylograficzne i fermentograficzne oraz próbny wypiek laboratoryjny. Wykonano także oznaczenia zawartości barwników betalainowych oraz potencjału przeciwutleniającego w badanym pieczywie. Uzyskane chleby poddano oceny organoleptycznej i konsumenckiej, a także analizie podstawowego składu chemicznego.

Badania wykonane w ramach niniejszej pracy doktorskiej potwierdziły przydatność badanych dodatków funkcjonalnych na bazie buraka ćwikłowego w technologii wypieku chleba o podwyższonej wartości prozdrowotnej.

7. Summary

Cereal products, including bread, is one of the easiest ways to provide the human body with nutrients, primarily energy ingredients - carbohydrates, and also a certain amount of protein, minerals or vitamins (including from group B, A and E) . In order to increase the range of bread available on the market and to improve the nutritional value of this type of food, e.g. diversification as to the technology of their production or enrichment of the raw material composition of the bread. The above-mentioned premises were the reason for choosing beetroot as an addition to the development of a new type of functional bread, which was the material in this research work.

The main objective of the study was to determine the effect of the addition of beetroot root in the form of juice, pomace or powder in the recipe on the technological and health-promoting properties of wheat, wheat-rye and wheat-oat bread. Moreover, the aim of the research was to indicate how the share of this vegetable and in what form positively affects the organoleptic qualities of the tested breads.

Wheat flour type 650 and mixtures of this flour with rye flour type 720 and oat flour in a 4:1 ratio were used for baking bread. Juice, pomace and beet root powder of the Czerwona Kula variety were produced on a laboratory scale. The samples tested for each type of bread included the three beetroot additives at four percentage levels in the enriched bread recipe. The tests of raw materials included analyzes of the content of biologically active ingredients in the juice, pomace and beetroot powder and detailed tests of the baking quality of flours/mixtures used for baking. A detailed analysis also covered semi-finished products, i.e. control doughs and doughs with beetroot additions. These were farinographic, extensographic, amylographic and fermentographic analysis and a laboratory baking test. The content of betalain and the antioxidant potential in the tested bread were also determined. The obtained breads were subjected to organoleptic and consumer evaluation, as well as to the analysis of the basic chemical composition.

The research carried out as part of this doctoral thesis confirmed the usefulness of the tested functional additives based on beetroot in the technology of baking bread with an increased pro-health value.

8. Bibliografia

1. Abou-Raya M. A., Rabiae M. M., El-Shazly A. S., El-Fadaly E. S., 2014, Effect of adding barley and oat flour on the rheological properties of bread dough, *Journal of Food and Dairy Sciences*, 5, 8, 641-652.
2. Abu El-Maaty A. S., El-Nemr S. E., El-Shourbagy G. A., Galal G. A., 2016, Effect of addition olster mushroom and red beetroot by-products on quality of pan bread, *Zagazig Journal of Food and Dairy Research*, 43, 2, 507-517.
3. Achremowicz B., Biller E., Ceglińska A., Dardziński L., Haber T., Obiedzińska A., Obiedziński M., Szablowska E., Waszkiewicz-Robak, B., 2019, Wpływ dodatku mąki z nasion miłki abisyńskiej na cechy fizyczne ciasta pszennego, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 5-17.
4. Achremowicz B., Ceglińska A., Darmetko M., Haber T., Jankowska J., Karpiński P., Obiedziński M., Tarasiewicz R., 2017, Charakterystyka wybranych surowców roślinnych i możliwości ich wykorzystania jako dodatków do ciast chlebowych, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 97-109.
5. Agarwal K., Varma R., 2014, Biochemical screening of beetroot leaves, *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 1, 127–134.
6. Altunkaya A., Hedegaard R. V., Brimer L., Gokmen V., Skibsted L. H., 2013, Antioxidant capacity versus chemical safety of wheat bread enriched with pomegranate peel powder, *Food and Function*, 4, 722-727.
7. Angioloni A., Collar C., 2013, Suitability of oat, millet and sorghum in breadmaking, *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1486-1493.
8. Azizi M.H., Sayeddin S.M., Payghambaroost S. H., 2006, Effect of flour extraction rate on flour composition, dough rheological characteristics and quality of flat bread, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8, 323-330.
9. Bachir B., Rabetafika H. N., Paquot M., Blecker C., 2014, Effect of pear, apple and date fibres from cooked fruit by-products on dough performance and bread quality, *Food and Bioprocess Technology*, 7, 1114-1127.
10. Baiano A., Viggiani I., Terracone C., Romaniello R., Del Nobile M. A., 2015, Physical and sensory properties of bread enriched with phenolic aqueous extracts from vegetable waste, *Czech Journal of Food Sciences*, 33, 3, 247-253.
11. Balestra F., Cocci E., Pinnavaia G., Romani S., 2011, Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder,

LWT - Food Science and Technology (Special Issue: Innovative baking technologies: new starches, functional bread and cereal products), 44, 700-705.

12. Baza Danych Lokalnych na 2015 i 2020 r., Główny Urząd Statystyczny.
13. Baza Danych Makroekonomicznych na 2020 r., Główny Urząd Statystyczny.
14. Belcar J., Sobczyk A., Sekutowski T. R., Stankowski S., Gorzelany J., 2021, Evaluation of flours from ancient varieties of wheat (einkorn, emmer, spelt) used in production of bread, *Acta Universitatis Cibiniensis Series E Food Technology*, 25, 1, 53-66.
15. Bellisle F., Blundell J. E., Dye L., Fantino M., Fern E., Fletcher R. J., Lamped J., Roberfroid M., Specter S., Westenhöfer J., Westerterp-Plantenga M. S., 1998, Functional food science and behaviour and psychological functions, *British Journal of Nutrition*, 80, 1, 173-193.
16. Borowska A., Kowrygo B., 2013, *Innowacyjność produktowa na przykładzie sektora piekarskiego*, wyd. SGGW w Warszawie, 33-47.
17. Borowska A., Rejman K., 2011, Spożycie pieczywa i preferencje konsumentów wobec innowacyjności produktowej branży piekarskiej, *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą/Studies and Proceedings Polish Association for Knowledge Management*, 52, 309-322.
18. Borrelli R. C., Mennella C., Barba F., Russo M., Russo G. L., Krome, K., Erbersdobler H.F., Faist V., Fogliano V., 2003, Characterization of coloured compounds obtained by enzymatic extraction of bakery products, *Food and Chemical Toxicology*, 41, 1367-1374.
19. Bouazizi S., Montevecchi G., Antonelli A., Hamdi M., 2020, Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation, *LWT – Food Science and Technology*, 124, 109155.
20. Boubaker M., Omri A. E., Blecker C., Bouzouita N., 2016, Fibre concentrate from artichoke (*Cynara scolymus* L.) stem by-products: Characterization and application as a bakery product ingredient, *Food Science and Technology International*, 22, 8, 759-768.
21. Brzozowski B., Bednarski W., Adamczak M., 2005, Biotechnologiczna modyfikacja biologicznych właściwości białek zboż, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 12, 4, 17-26.
22. Buksa K., Nowotna, A., Gambuś H., Krawontka J., Sabat R., Noga M., 2012, Analiza towaroznawcza i skład chemiczny ziarna wybranych polskich odmian żyta, pochodzących z trzech kolejnych lat uprawy, *Acta Agrophysica* 19, 2, 265-276.
23. Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Jonczyk K., 2014, Wartość wypiekowa mąki z ziarna odmian pszenicy uprawianych w ekologicznym systemie produkcji, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 576, 23-32.

24. Cacak-Pietrzak G., Dziki D., Jonczyk K., 2017, Charakterystyka technologiczna pszennych mąk pasażowych. Cz. I. Skład chemiczny mąki, Przegląd Zbożowo-Młynarski, 61, 3, 36-38.
25. Cantero L., Salmerón J., Miranda J., Larretxi I., Fernández-Gil M.d.P., Bustamante M.Á., Matias S., Navarro V., Simón E., Martínez O., 2022, Performance of Apple Pomace for Gluten-Free Bread Manufacture: Effect on Physicochemical Characteristics and Nutritional Value, Applied Science, 12, 5934.
26. Cardoso R. V. C., Fernandes A., Heleno S. A., Rodrigues P., Gonzalez-Paramas A. M., Barros L., Ferreira I. C. F. R., 2019, Physicochemical characterization and microbiology of wheat and rye flours, Food Chemistry, 280, 123-129.
27. Caroch M., Morales P., Ciudad-Murelo M., Fernandez-Ruiz V., Ferreira E., Heleno S., Rodrigues P., Barros L., Ferreira I. C. F. R., 2020, Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters, Food Chemistry, 310, 125954.
28. Ceglińska A., Cacak-Pietrzak G., Sobczyk M., Salwa M., 2012, Wpływ przechowywania mąki pszennej na wartość wypiekową, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 571, 29-37.
29. Ceglińska A., 2017, Znaczenie pieczywa w codziennym życiu człowieka, Zeszyty Naukowe Uczelni Vistula, 54, 3, Turystyka III, 30-37.
30. Chen H. L., Haack V. S., Janecky C. W., Vollendorf N. W., Marlett J. A., 1998, Mechanism by which wheat bran and oat bran increase stool weight in humans, American Journal of Clinical Nutrition, 63, 3, 711-719.
31. Chhikara N., Kushwaha K., Sharma P., Gat Y., Panghal A., 2018, Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review, Food Chemistry, 272, 192-200.
32. Chhikara N., Kushwaha K., Jaglan S., Sharma P., Panghal, A., 2019a, Nutritional, physicochemical, and functional quality of beetroot (*Beta vulgaris* L.) incorporated Asian noodles, Cereal Chemistry, 96, 154-161.
33. Chhikara N., Kushwaha K., Sharma P., Gat Y., Panghal A., 2019b, Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review, Food Chemistry, 272, 192-200.
34. Ciecierska M., Warszzycka A., Kowalska J., Derewiaka D., Drużyńska B., Majewska E., Wołosia R., 2018, Preferencje konsumenckie na rynku pieczywa, Science, Nature, Technologies/Nauka, Przyroda, Technologie, 12, 1, 55-63.

35. Clifford T., Howatson G., West D. J., Stevenson, E. J., 2015, The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease, *Nutrients*, 7, 4, 2801-2822.
36. Codina G. G., Ropciuc S., Dabija A., 2019, Optimization of calcium-magnesium-inulin formulation on wheat flour dough rheological properties, *Journal of Food Process Engineering*, 42, e13219.
37. Coles T., Clifton P., 2012, Effect of beetroot juice on lowering blood pressure in free-living, disease-free adults: a randomized, placebo-controlled trial, *Nutrition Journal*, 11, 106.
38. Collar C., Santos E., Rosell C. M., 2007, Assesment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology, *Journal of Food Engineering*, 78, 820-826.
39. Cui R., Fei Y., Zhu F., 2022, Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process, *Food Chemistry*, 383, 132547.
40. Czapski J., Mikołajczyk K., Kaczmarek M., 2009, Relationship between antioxidant capacity of red beetroot juice and contents of its betalain pigments, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 59, 2, 119-122.
41. Czapski J., Górecka D. (red.), 2015, *Żywność prozdrowotna. Składniki i technologia*, wyd. UP w Poznaniu, 164-171.
42. Czubaszek A., 2008, Charakterystyka technologiczna mieszanek mąki pszennej z produktami przemiału owsa, *Zeszyty Naukowe UP we Wrocławiu, rozprawa* 253, 564, 1-85.
43. Czubaszek A., Karolini-Skaradzińska Z., 2005, Effects of wheat flour supplementation with oat products on dough and bread quality, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 14/55, 3, 281-286.
44. Czubaszek A., Karolini-Skaradzinska Z., Fajarczuk, M., 2011, Wpływ dodatku produktów z owsa na właściwości wypiekowe mieszanek żytnio-owsianych, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 78, 5, 150-162.
45. Czyżowska A., Klewicka E., Libudysz Z., 2006, The influence of lactic acid fermentation process of red beet juice on the stability of biologically active colorants, *European Food Research and Technology*, 223, 110-116.
46. Darwish O. H., Rabie A. M., El-Shewy M. A., Shalaby H. S., 2018, Effect of partial replacement of wheat flour by barley and oat flour on the chemical and rheological properties of toast bread dough, *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 45, 1, 261-269.
47. Davoudi Z., Shahedi M., Kadivar M., 2020, Effects of pumpkin powder addition on the rheological, sensory, and quality attributes of Taftoon bread, *Cereal Chemistry*, 97, 5, 904-911.

48. Desseva I., Stoyanova M., Petkova N., Mihaylova D., 2020, Red beetroot juice phytochemicals bioaccessibility: An in vitro approach, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70, 1, 45-53.
49. Diowski A., 2010a, Pieczywo jako żywność funkcjonalna (cz. 1), *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 58, 9, 18-19.
50. Diowski A., 2010b, Pieczywo jako żywność funkcjonalna (cz. 2). Pieczywo dietetyczne, *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 58, 10, 12-13.
51. Diplock A. T., Action E. C., 1999, Scientific Concepts of Functional Foods in Europe – Consensus Document, *British Journal of Nutrition*, 81, 1, 1-27.
52. Djeghim F., Bourekoua H., Różyło R., Bieńczak A., Tanaś W., Zidoune M. N., 2021, Effect of By-Products from Selected Fruits and Vegetables on Gluten-Free Dough Rheology and Bread Properties, *Applied Sciences*, 11, 4605.
53. Dziki D., Różyło R., Gawlik-Dziki U., Świeca M., 2014, Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds, *Trends in Food Science and Technology*, 40, 48-61.
54. Edwards W. P., 2007, *The science of bakery products*, Cambridge, UK, The Royal Society of Chemistry.
55. Fabijańska M., Fronczyk A., 2015, Historia i tradycja wypieku chleba oraz jego miejsce w diecie, *Zeszyty Naukowe. Turystyka i Rekreacja*, 1, 15, 93-104.
56. Filipcev B., Levic L., Bodroza-Solarov M., Misljenovic N., Koprivica, G., 2010, Quality characteristics and antioxidant properties of breads supplemented with sugar beet molasses-based ingredients, *International Journal of Food Properties*, 13, 1035-1053.
57. Filipcev B., Simurina O., Bodroza-Solarov M., 2014, Combined effect of xylanase, ascorbic and citric acid in regulating the quality of bread made from organically grown spelt cultivars, *Journal of Food Quality*, 37, 3, 185-195.
58. Franaszek S., Langner M., Salmanowicz B., 2013, Niskocząsteczkowe białka gluteninowe i ich wpływ na jakość wypiekową pszenicy, *Biuletyn IHAR*, 269, 3-13.
59. Fraś A., Gołębiewska K., Wiśniewska M., Mańkowski D. R., 2022, Ocena zawartości wybranych składników odżywczych i substancji bioaktywnych w różnych rodzajach pieczywa dostępnych na polskim rynku, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 29, 1, 130, 63-77.
60. Gambuś H., 2016, Rodzaje pieczywa w Polsce i na świecie W: *Produkty zbożowe. Technologia i rola w żywieniu człowieka*, Gawęcki J., Obuchowski W. (red.), wyd. UP w Poznaniu, 68-94.

61. Gambuś H., Zieć G., Litwinek D., Drużkowska M., Gambuś F., Mickowska, B., 2018, Porównanie wartości wypiekowej mąki z pszenicy orkiszowej z mąką z pszenicy zwyczajnej, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 25, 1, 114, 30-49.
62. Gąsiorowski H. (red.), 1994, *Żyto – chemia i technologia*, wyd. PWRiL w Poznaniu, 41-184, 197-254.
63. Gąsiorowski H. (red.), 1995, *Owies – chemia i technologia*, wyd. PWRiL w Poznaniu, 36-116, 146-158.
64. Gąsiorowski H. (red.), 2004, *Pszenica – chemia i technologia*, wyd. PWRiL w Poznaniu, 138-233, 346-457.
65. Gawęcki J., Obuchowski W., 2016, *Produkty zbożowe. Technologia i rola w żywieniu człowieka*, wyd. UP w Poznaniu.
66. Gawlik-Dziki U., Świeca M., Dziki D., Baraniak B., Tomilo J., Czyż J., 2013, Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa* L.) skin, *Food Chemistry*, 138, 1621-1628.
67. Gelinas P., McKinnon C. M., 2006, Effect of wheat variety, farming site and bread-baking on total phenolics, *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 329-332.
68. Gerłowicz A., Marzec A., Kowalska H., Domian E., 2018, Ocena wybranych właściwości fizycznych ciasta i ciastek biszkoptowych z dodatkiem naturalnych koncentratów barwiących, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 595, 41-49.
69. Gibiński M., Gumul D., Korus J., 2005, Prozdrowotne właściwości owsa i produktów owsianych, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 45, 4, 49-60.
70. Girard A. L., Awika J. M., 2020, Effects of edible plant polyphenols on gluten protein functionality and potential applications of polyphenol – gluten interactions, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19, 4, 2164-2199.
71. Glei M., Kirmse A., Habermann N., Persin C., Pool-Zobel B. L., 2006, Bread enriched with green coffee extract Has chemoprotective and antigenotoxic activities in human cells, *Nutrition and Cancer*, 56, 182-192.
72. Goldman I., 1995, Differential effect of population density on shape and size of cylindrical red beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes, *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120, 908-909.
73. Goncalves L. C. P., de Souza Trassi M. A., Lopes N. B., Dorr F. A., dos Santos M. T., Baader W. J., Oliveira V. X., Bastos E. L., 2012, A comparative study of the purification of betanin, *Food Chemistry*, 131, 231-238.

74. Goryńska-Goldman E., 2010, Standarization of the bakery goods, *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 2, 16, 61-72.
75. Guldiken B., Toydemir G., Nur Memis K., Okur S., Boyacioglu D., Capanoglu E., 2016, Home-processed red beetroot (*Beta vulgaris* L.) Products: Changes in antioxidant properties and bioaccessibility, *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 858.
76. Gu Y., Qian X., Sun B., Ma S., Tian X., Wang X., 2022, Nutritional composition and physicochemical properties of oat flour sieving fractions with different particle size, *LWT*, 154, 112757.
77. Hamelman J., 2018, Chleb. Techniki wypieku, przepisy, wskazówki, wyd. Grupa Wydawnicza Foksal sp. z o.o., 5-53.
78. Hrušková M., Švec I., 2016, Fermented dough characteristics of wheat-barley-hemp composites. Comparison of two dosages of barley and hemp wholemeal/flour, *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64, 3, 803-812.
79. Hsu C. T., Chang Y. H., Shiau S. Y., 2019, Color, antioxidation and texture of dough and Chinese steamed bread enriched with pitaya peel powder, *Cereal Chemistry*, 96, 1, 76-85.
80. Humer E., Schedle K., 2016, Fermentation of food and feed: A technology for efficient utilization of macro and trace elements in monogastrics, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 37, 69-77.
81. ICC, International Association for Cereal Science and Technology, Standard nr. 115/1, Method for using the Brabender Farinograph.
82. ICC, International Association for Cereal Science and Technology, Standard nr. 114/1, Method for using the Brabender Extensograph.
83. ICC, International Association for Cereal Science and Technology, Standard nr. 107/1, Determination of the Falling Number according to Hagberg – as a Measure of the Degree of Alpha-Amylase Activity in Grain and Flour.
84. ICC, International Association for Cereal Science and Technology, Standard nr. 155, Determination of Wet Gluten Quantity and Quality (Gluten Index ac. to Perten) of Whole Wheat Meal and Wheat Flour (*Triticum aestivum*).
85. ICC, International Association for Cereal Science and Technology, Standard nr. 158, Gluten Index Method for Assessing Gluten Strength in Durum Wheat (*Triticum Durum*).
86. Jakubczyk T., Haber T., 1983, Analiza zbóż i przetworów zbożowych: praca zbiorowa, wyd. SGGW w Warszawie, 11-21, 68-117, 123-124, 136-148, 153-161, 199-229, 268-278, 291-333.

87. Jankowska M., Kędzior Z., Pruska-Kędzior A., Chojnacka E., Binder M., 2011, Porównanie właściwości funkcjonalnych glutenu z pszenicy samopszy i pszenicy zwyczajnej, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 79, 6, 79-90.
88. Jarosz K., 2016, *Magazynowanie surowców piekarskich*, wyd. WSiP w Warszawie.
89. Jeżewska-Zychowicz M., Kowalczyk I., 2016, Prozdrowotne i hedonistyczne uwarunkowania decyzji konsumenckich na rynku pieczywa, *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 114, 95-106.
90. Jokinen I., Silventoinen-Veijalainen P., Lille M., Nordlund E., Holopainen-Mantila U., 2023, Variability of carbohydrate composition and pasting properties of oat flakes and oat flours produced by industrial oat milling process – Comparison to non-heat-treated oat flours, *Food Chemistry*, 405, 134902.
91. Jurga R., 2003, *Przemiał ziarna pszenicy. Część 30. Wartość wypiekowa mąki pszennej*, *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 7, 39-40.
92. Kajzer M., Diowks A., 2019, Dieta bezglutenowa – ograniczenia, ale i szanse dla sektora piekarskiego, *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 63, 2, 36-39.
93. Kampuse S., Ozola L., Straumite E., Galoburda R., 2015, Quality parameters of wheat bread enriched with pumpkin (*Cucurbita Moschata*) by-products, *Acta Universitatis Cibiniensis Series E Food Technology*, 19, 2, 3-14.
94. Kathiravan, T., Nadanasabapathi, S. and Kumar, R., 2014, Standardization of process condition in batch thermal pasteurization and its effect on antioxidant, pigment and microbial inactivation of Ready to Drink (RTD) beetroot (*Beta vulgaris* L.) juice, *International Food Research Journal*, 21, 4, 1305-1312.
95. Kawka A., Liczbańska A., Łapa J., 2005, Wpływ całościarnowej mąki jęczmiennej i wybranych dodatków technologicznych na jakość pieczywa pszenno-jęczmiennego, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2, 43, 33-46.
96. Kawka A., 2010, Współczesne trendy w produkcji piekarskiej – wykorzystanie owsa i jęczmienia jako zbóż niechlebowych, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 70, 3, 25-43.
97. Kawka A., Górecka D., 2010, Porównanie składu chemicznego pieczywa pszenno-owsianego i pszenno-jęczmiennego z udziałem zakwasów fermentowanych starterem LV2, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 70, 3, 44-55.
98. Kawka A., Patelska A., Jakubowski D., 2015, Całościarna mąka jęczmienna w produkcji pieczywa prozdrowotnego, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 48, 3, 361-366.

99. Kępińska-Pacelik J., Biel W., 2021, Wartość odżywcza zbóż niechlebowych i możliwość ich wykorzystania w przemyśle, *Przemysł Spożywczy*, 75, 9, 20-27.
100. Klewicka E., 2012, Betacyjaniny – biodostępność i biologiczna aktywność, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 81, 2, 5-21.
101. Kohajdova Z., Karovicova J., Jurasova M., 2012, Influence of carrot pomace powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on wheat rolls quality, *Acta Scientiarum Polonorum – Technologia Alimentaria*, 11, 4, 381-387.
102. Kohajdova Z., Karovicova J., Jurasova M., 2013, Influence of grapefruit dietary fibre rich powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality, *Acta Alimentaria*, 42, 91-101.
103. Kohajdova Z., Karovicova J., Magala M., Kuchtova V., 2014, Effect of apple pomace powder addition on farinographic properties of wheat dough and biscuits quality, *Chemical Papers*, 68, 8, 1059-1065.
104. Kohajdova Z., Karovicova J., Kuchtova V., Laukova M., 2018, Utilisation of beetroot powder for bakery applications, *Chemical Papers*, 72, 1507-1515.
105. Koletta P., Irakli M., Papageorgiou M., Skendi A., 2014, Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours, *Journal of Cereal Science*, 60, 3, 561-568.
106. Kot M., 2007, Pieczywo prozdrowotne – wykorzystanie zbóż niechlebowych oraz nasion roślin oleistych, *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 55, 9, 11-13.
107. Kourkouta L., Koukourikos K., Iliadis C., Ouzounakis P., Monios A., Tsaloglidou A., 2017, Bread and health, *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5, 11, 821-826.
108. Kowalska H., Marzec A., Mucha M., 2012, Ocena sensoryczna wybranych rodzajów pieczywa funkcjonalnego oraz preferencje pieczywa wśród konsumentów, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 571, 67-78.
109. Kownacki J., Gubala W., 2003, Świeże pieczywo, *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 51, 7, 23.
110. Kozłowska-Strawska J., Badora A., Wodzyńska A., 2015, Wybrane walory odżywcze i prozdrowotne produktów zbożowych, *Towaroznawcze Problemy Jakości*, 3, 39-49.
111. Kulczyński B., Gramza-Michałowska A., 2022, Burak zwyczajny (*Beta vulgaris* L.) jako źródło związków o korzystnym wpływie na zdrowie, *Przemysł Spożywczy*, 9, 76, 38-41.
112. Kumar N., Kumar K., 2011, Development of carrot pomace and wheat flour based cookies, *Journal of Pure and Applied Science and Technology*, 1, 4-10.

113. Kunachowicz H., Przygoda B., Nadolna I., Iwanow K., 2020, Tabele składu i wartości odżywczej żywności, wyd. PZWL Wydawnictwo Lekarskie, 54, 58, 82.
114. Lim H. S., Park S. H., Ghafoor K., Hwang S. Y., Park J., 2011, Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea, Food Chemistry, 124, 1577-1582.
115. Lim K., 2016, Beta vulgaris W: Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants, 26–68.
116. Lipińska-Ojrzanowska A., Magnuska J., Świerczyńska-Machura D., Walusiak-Skorupa J., Marcinkiewicz A., Wiszniewska M., 2019, Potrzeba działań prewencyjnych dotyczących chorób cywilizacyjnych w opiece profilaktycznej sprawowanej przez służbę medycyny pracy-opinia pracujących, Medycyna Pracy, 70, 425-433.
117. Litwinek D., Gambuś H., Zięć G., Sabat G., Wywrocka-Gurgul A., Berski W., 2013, The comparison of quality and chemical composition of breads baked with residual and commercial oat flours and wheat flour, Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2, 1, 1734-1743.
118. Litwinek D., Gambuś H., Sabat R., Wywrotka-Gurgul A., Lakoś M., 2015, Porównanie jakości i wartości odżywczej mąki żytniej, pszennej i orkiszowej z pełnego przemiału W: Technologiczne kształtowanie jakości żywności, K. M. Wójciak, Z. J. Dolatowski (red.), Wyd. Naukowe PTTŻ, Kraków, 171-180.
119. Litwinek D., Buksa K., Kowalczyk M., Boreczek J., Gambuś H., 2017, Ocena jakości handlowych mąk całoziarnowych - pszennej orkiszowej, pszennej zwyczajnej i żytniej oraz uzyskanych z nich zakwasów spontanicznych, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość., 24, 4, 113, 76-89.
120. Lucky A. R., Al-Mamun A., Hosen A., Toma M. A., Mazumder M. A. R., 2020, Nutritional and sensory quality assessment of plain cake enriched with beetroot powder, Food Research, 4, 6, 2049-2053.
121. Majzoobi M., Ghavi F. S., Farahnaky A., Jamalian J., Mesbahi G., 2011, Effect of tomato pomace powder on the physicochemical properties of flat bread (Barbari bread), Journal of Food Processing and Preservation, 35, 2, 247-256.
122. Maraie N. K., Abdul-Jalil T. Z., Alhamdany A. T., Janabi, H. A., 2014, Phytochemical study of the Iraqi *Beta vulgaris* leaves and its clinical application for the treatment of different dermatological diseases, World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 3, 5-19.
123. Masoodi F. A., Chauhan G. S., Tyagi S. M., Kumbhar B. K., Kaur H., 2001, Effect of apple pomace incorporation on rheological characteristics of wheat flour, International Journal of Food Properties, 4, 2, 215-223.

124. Mazza G., Chubey B.B., 1985, Influence of cultivar and growing season on pigments, soluble solids and root yield of red beets, Canadian Institute of Food Science and Technology, 18, 382-384.
125. Meral R., Kose Y. E., 2019, The effect of breadmaking process on the antioxidant activity and phenolic profile of enriched breads, Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 11, 2, 171-181.
126. Michniewicz J., 1995, Inne polisacharydy nieskrobiowe W: Owies – chemia i technologia, Gąsiorowski H. (red.), wyd. PWRiL w Poznaniu, 62-68.
127. Michniewicz J., Makowska A., 2016, Podstawy technologii produkcji pieczywa W: Produkty zbożowe. Technologia i rola w żywieniu człowieka, Gawęcki J., Obuchowski W. (red.), wyd. UP w Poznaniu, 45-67.
128. Mielczarek B., Śliżewska K., Olejnik T. P., 2020, Zastosowanie analizy strategicznej do zmian technologicznych w małym zakładzie piekarniczo-cukierniczym, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość., 27, 3, 124, 113-130.
129. Miś A., Grundas S., Dziki D., Laskowski J., 2012, Use of farinograph measurements for predicting extensograph traits of bread dough enriched with carob fibre and oat wholemeal, Journal of Food Engineering, 108, 1, 1-12.
130. Miś, A., Dziki, D., 2013, Extensograph curve profile model used for characterising the impact of dietary fibre on wheat dough, Journal of Cereal Science, 57, 3, 471-479.
131. Mohammed I., Ahmed A. R., Senge B., 2012, Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends, Industrial Crops and Products, 36, 1, 196-202.
132. Mokrzycki W. S., Tatol M., 2011, Palette generation in L* a* b* colour space using ΔE W: Computer Recognition Systems 4. Advances in Intelligent and Soft Computing, vol. 95, Burduk R., Kurzyński M., Woźniak M., Żołnierek A. (red.), wyd. Springer, Berlin, Heilderberg, 279-285.
133. N.N., 2009, Ekstensograf. Instrukcja obsługi. Brabender Ekstensograph – E.
134. N.N., 2009, Fermentograf. Instrukcja użytkowania. Laserowy Fermentograf Sadkiewicza.
135. Nassar A.G., Abdel-Hamied A.A., El-Naggar E.A., 2008, Effect of citrus by-products flour incorporation on chemical, rheological and organoleptic characteristics of biscuits, World Journal of Agricultural Sciences, 4, 5, 612-616.
136. Nemzer B., Pietrkowski Z., Spórna A., Stalica P., Thresher W., Michałowski T., Wybraniec S., 2011, Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beetroot (*Beta vulgaris* L.) dried extracts, Food Chemistry, 127, 42–53.

137. Nilsson T., 1970, Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.), Lantbrukshogskolans annaler, 36, 179-219.
138. Obuchowski W., 2016, Charakterystyka roślin zbożowych i przemiał ziarna W: Produkty zbożowe. Technologia i rola w żywieniu człowieka, Gawęcki J., Obuchowski W. (red.), wyd. UP w Poznaniu, 11-32.
139. Odunlade T. V., Famuwagun A. A., Taiwo K. A., Gbadamosi S. O., Oyedele D. J., Adebooye O. C., 2017, Chemical composition and quality characteristics of wheat bread supplemented with leafy vegetable powders, Journal of Food Quality, 9536716, 1-7.
140. Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th Edition, Volume II, Section 45.4.07, Method 985.29 1997.
141. Orkusz A., Garaszczuk A., 2018, Gluten w żywności – korzyści i zagrożenia, Nauki inżynierskie i technologie. Engineering Sciences and Technologies, 4, 31, 52-64.
142. Paczkowska M., Kunachowicz H., 2004, Zawartość błonnika pokarmowego z rozróżnieniem na frakcje w wybranych typach mąk Żywnie Człowieka i Metabolizm. Supplement, 31, 2, cz. 2, 228-233.
143. Parafati L., Restuccia C., Palmeri R., Fallico B., Arena E., 2020, Characterization of prickly pear peel flour as a bioactive and functional ingredient in bread preparation, Foods, 9, 9, 1189.
144. Pasqualone A., Laddomada B., Spina A., Todaro A., Guzmàn C., Summo C., Mita G., Giannone V., 2018, Almond by-products: Extraction and characterization of phenolic compounds and evaluation of their potential use in composite dough with wheat flour. LWT, 89, 299-306.
145. Pekmez H., Yilmaz B. B., 2018, Quality and antioxidant properties of black carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) fiber fortified flat bread (Gaziantep Pita), Journal of Agricultural Science and Technology B, 8, 533-541.
146. Piątkowska E., Witkiewicz R., Pisulewska E., 2010, Podstawowy skład chemiczny wybranych odmian owsa siewnego, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 3, 70, 88-99.
147. Pielak M., Ołubiec-Opatowska E., Czarniecka-Skubina E., Jaworska D., 2018, Współczesne trendy w spożyciu wybranych produktów zbożowych, Przemysł Spożywczy, 72, 6, 36-39.
148. PN-A-74022:2003: Przetwory zbożowe – Mąka pszenna.
149. PN-A-74108:1996: Pieczywo. Metody badań.
150. PN-A-74108:1996P: Pieczywo. Metody badań. Oznaczanie wilgotności miękkiszu pieczywa.
151. PN-A-74112:1997: Pieczywo trwałe żytnie, mieszane, pszenne.

152. PN-EN ISO 10520:2002: Skrobia naturalna - Oznaczanie zawartości skrobi - Metoda polarymetryczna Ewersa.
153. PN-EN ISO 11136:2017-08: Analiza sensoryczna - Metodyka - Ogólne wytyczne przeprowadzania testów hedonicznych z konsumentami na obszarze kontrolowanym.
154. PN-EN ISO 21415-1:2007: Pszenica i mąka pszenna - Zawartość glutenu - Część 1: Oznaczanie ilości glutenu mokrego metodą ręcznego wymywania.
155. PN-EN ISO 21415-2:2015-12: Pszenica i mąka pszenna – Ilość glutenu – Część 2 - Oznaczanie glutenu mokrego i indeksu glutenuza pomocą urządzeń mechanicznych.
156. PN-EN ISO 21415-4:2008: Pszenica i mąka pszenna - Ilość glutenu - Część 4: Oznaczanie glutenu suchego z glutenu mokrego metodą szybkiego suszenia.
157. PN-EN ISO 2171:2010: Ziarno zbóż, nasiona roślin strączkowych i ich przetwory - Oznaczanie zawartości popiołu metodą spalania.
158. PN-EN ISO 5530-1:2015-01: Mąka pszenna. Fizyczne właściwości ciasta. Część 1: Oznaczanie wodochłonności i właściwości reologicznych za pomocą farinografu.
159. PN-EN ISO 5539-2:2015-01: Mąka pszenna. Fizyczne właściwości ciasta. Część 2: Oznaczanie właściwości reologicznych za pomocą ekstensografu.
160. PN-EN ISO 7973:2016-01: Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie lepkości mąki. Metoda z zastosowaniem amylografu.
161. PN-EN ISO 20483:2014-02: Ziarno zbóż i nasiona roślin strączkowych - Oznaczanie zawartości azotu i przeliczanie na zawartość białka - Metoda Kjeldahla.
162. PN-EN ISO 11085:2015-10: Ziarno zbóż, produkty wytworzone na bazie ziarna zbóż i pasze - Oznaczanie zawartości tłuszczu surowego i tłuszczu całkowitego metodą ekstrakcji Randalla.
163. PN-ISO 3093:2010: Pszenica, żyto i mąki z nich uzyskane, pszenica durum i semolina - Oznaczanie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena.
164. PN-ISO 7305:2001: Przetwory zbożowe - Oznaczanie kwasowości tłuszczowej.
165. PN-ISO 3972:2016-07: Analiza sensoryczna - Metodyka - Metody badania wrażliwości smakowej.
166. PN-EN ISO 5529:2010: Pszenica - Oznaczanie wskaźnika sedymentacyjnego - Test Zeleny'ego.
167. Pycia K., Ivanisova E., 2020, Physicochemical and antioxidant properties of wheat bread enriched with hazelnuts and walnuts, *Foods*, 9, 1081.

168. Raba D. N., Moigradean D., Poiana M. A., Popa M., Jianu I., 2007, Antioxidant capacity and polyphenols content for garlic and basil flavored bread, *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 13, 1, 163-168.
169. Raczyk M., Kruszewski B., Michałowska D., 2021, Effect of Coconut and Chestnut Flour Supplementations on Texture, Nutritional and Sensory Properties of Baked Wheat Based Bread, *Molecules*, 26, 4641.
170. Raczyk M., Kruszewski B., Zachariasz E., 2022, Effect of Tomato, Beetroot and Carrot Juice Addition on Physicochemical, Antioxidant and Texture Properties of Wheat Bread, *Antioxidants*, 11, 2178.
171. Radomski G., Bać A., Mierzejewska S., 2007, Ocena porównawcza wartości wypiekowej mąki pszennej i orkiszowej, *Inżynieria Rolnicza*, 5, 23, 369-374.
172. Radovanovic M. A., Milovanovic Z. O., Kipic Z. M., Nincovic B. M., Cupara M. S., 2014, Characterization of bread enriched with Jerusalem artichoke powder content, *Journal of Food and Nutrition Research*, 2, 2, 895-898.
173. Rajewska N., Lesiów T., 2015, Pieczywo jako żywność funkcjonalna na przykładzie produktu piekarni-cukierni „Adar”, *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 4, 19, 68-84.
174. Rakin M. Vukasinovic A., Siler-Marinkovic S., Maksimovic M., 2007, Contribution of lactic acid fermentation to improved nutritive quality vegetable juices enriched with brewer's yeast autolysate, *Food Chemistry*, 100, 599-602.
175. Ranawana V., Raikos V., Campbell F., Bestwick C., Nicol P., Milne L., Duthie G., 2016, Breads fortified with freeze-dried vegetables: quality and nutritional attributes. Part II: Breads not containing oil as an ingredient, *Foods*, 5, 62, 1-14.
176. Ravichandran K., Saw M., Mohdaly A., Gabr M., Kastell A., Riedel H., Smetanska I., 2013, Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity, *Food Research International*, 50, 670–675.
177. Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., 1999, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
178. Regula U., Gramza-Michalowska A., 2013, Wartość odżywcza oraz indeks glikemiczny produktów zbożowych z dodatkiem suszu bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*), *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5, 90, 119-128.
179. Rojek-Ledwoch M., 2018, Polskie superfoods czyli żywność o wysokiej wartości odżywczej, wyd. SBM.

180. Romankiewicz D., Ceglińska A., Cacak-Pietrzak G., 2013, Wpływ metody prowadzenia ciasta na jakość chleba pszennego, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 574, 57-65.
181. Rowicka G., 2016, Niepożądane reakcje na gluten/zboża glutenowe i dieta bezglutenowa W: *Produkty zbożowe. Technologia i rola w żywieniu człowieka*, Gawęcki J., Obuchowski W. (red.), wyd. UP w Poznaniu, 171-190.
182. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 16.09.2010 r. w sprawie substancji wzbogacających dodawanych do żywności (DZ.U. z 2010 r., poz. 1184).
183. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr. 1169/2011 z 25.10.2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności.
184. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 828/2014 z 30.04.2014 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat nieobecności lub zmniejszonej zawartości glutenu w żywności.
185. Różyło R., 2007, Zmiany cech tekstury miękiszu chleba pszennego pod wpływem dodatku produktów z owsa, *Acta Agrophysica*, 10, 3, 667-676.
186. Różyło R., Dziki D., Laskowski J., 2009, Ocena cech tekstury chleba wykonanego z różnym udziałem wody, *Acta Agrophysica*, 13, 3, 761-769.
187. Ruiz-Gutierrez M. G., Amaya-Guerra C. A., Quintero-Ramos A., Perez-Carillo E., de J. Ruiz-Anchondo T., Baez-Gonzalez J. G., Melendez-Pizarro C. O., 2015, Effect of extrusion cooking on bioactive compounds in encapsulated red cactus pear powder, *Molecules*, 20, 8875-8892.
188. Sadowska A., Rakowska R., Świdorski F., 2015, Projektowanie żywności funkcjonalnej zmniejszającej ryzyko wybranych chorób cywilizacyjnych. Część I. Charakterystyka żywności zmniejszającej ryzyko wybranych dietozależnych chorób cywilizacyjnych, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 92-96.
189. Sajdakowska M., Gębski J., Żakowska-Biemans S., Jeżewska-Zychowicz M., 2019, Willingness to eat bread with health benefits: habits, taste and health in bread choice, *Public Health*, 167, 78-87.
190. Sawicki T., Bączek N., Wiczowski W., 2016, Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part, *Journal of Functional Foods*, 27, 249-261.
191. Sawicki T., Wiczowski W., 2018, The effects of boiling and fermentation on betalain profiles and antioxidant capacities of red beetroot products, *Food Chemistry*, 259, 292-303.

192. Schulze M. B., Schulz M., Heidemann C., Schienkiewitz A., Hoffmann K., Boeing H., 2007, Fiber and magnesium intake and incidence of type 2 diabetes. A prospective study and metaanalysis, *Archives of Internal Medicine*, 167, 956e65.
193. Shebl M. S. M., Kishk Y. F. M., Abd El-Fatah A. A., Yousif E. I., 2018, Influence of α -amylase and ascorbic acid combination on extensograph of weak wheat flour dough and sensory properties of pan bread, *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 26, 2, 581-598.
194. Shiau S. Y., Li G. H., Pan W. C., Xiong C., 2020, Effect of pitaya peel powder addition on the phytochemical and textural properties and sensory acceptability of dried and cooked noodles, *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, 7, e14491.
195. Sikkhamondhol C., Teanpook C., Boonbumrung S., Chittrepol, S., 2009, Quality of bread with added turmeric (*Curcuma longa* L): powder, essential oil and extracted residues, *Asian Journal of Food and Agro-industry*, 2, 690-701.
196. Sitkowska E., 2006, Proces standaryzacji mąki pszennej, *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 7, 2-4.
197. Sivam A. S., Sun-Waterhouse D., Perera C.O., Waterhouse G. I. N., 2012, Exploring the interactions between blackcurrant polyphenols, pectin and wheat biopolymers in model breads; a FTIR and HPLC investigation, *Food Chemistry*, 131, 3, 802-810.
198. Slavov A., Karagyozev V., Denev P., Kratchanova M., Kratchanov C., 2013, Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments, *Czech Journal of Food Sciences*, 31, 139–147.
199. Słowik E., 2006, Ocena jakości mąki – przegląd najczęściej stosowanych metod badania mąki (część 1), *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 11, 14-18.
200. Słowik E., 2008, Słabe mąki, *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 3, 38-39.
201. Sobczyk A., Pycia K., Stankowski S., Jaworska G., Kuźniar P., 2017a, Evaluation of the rheological properties of dough and quality of bread made with the flour obtained from old cultivars and modern breeding lines of spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*), *Journal of Cereal Science*, 77, 35-41.
202. Sobczyk A., Pycia K., Jaworska G., Kaszuba J., 2017b, Comparison of fermentation strength of the flours obtained from the grain of old varieties and modern breeding lines of spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spetla*), *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 6, e13293.
203. Sobczyk A., Wiśniewski R., Jaworska G., Lachowicz S., Piechowiak, T., 2017c, Wpływ serwatki sojowej na właściwości fermentacyjne mąki pszennej i żytniej, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 24, 1, 101-111.

204. Sobczyk M., 2009, Ocena jakości pieczywa pszennego otrzymanego metodą odroczonego wypieku, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 37-40.
205. Somoza V., Wenzel E., Lindenmeier M., Grothe D., Erbersdobler H. F., Hofmann, T., 2005, Influence of feeding malt, bread crust and a pronylated protein on the activity of chemopreventive enzymes and antioxidative defense parameters in vivo, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 8176-8182.
206. Stępniewska S., 2013, Zależność pomiędzy aktywnością enzymów amylolitycznych, a cechami reologicznymi ciasta pszennego, *Acta Agrophysica*, 20, 3, 463-472.
207. Stępniewska S., Hassoon W. H., Szafrńska A., Cacak-Pietrzak G., Dziki D., 2019, Procedures for breadmaking quality assessment of rye wholemeal flour, *Foods*, 8, 331.
208. Strachotová D., Kutnohorská O., Sudzina F., 09.2018, Analysis of bread consumption, 27th International Scientific Conference Agrarian Perspectives XXVII, Czech University of Life Sciences Prague, 359-366.
209. Sudha M.L., Baskaran V., Leelavathi K., 2007, Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making, *Food Chemistry*, 104, 686-692.
210. Świdorski F., Waszkiewicz-Robak B., 2005, Składniki bioaktywne w żywności funkcjonalnej, *Przemysł Spożywczy*, 4, 20-22.
211. Świetlikowska K. (red.), 2008, Surowce spożywcze pochodzenia roślinnego, wyd. SGGW w Warszawie, 81-85; 206-229.
212. Szafrńska A., 2011, Ocena wartości wypiekowej mąki żytniej, *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 66, 4, 5-18.
213. Szafrńska A., 2017, Wpływ stopnia uszkodzenia skrobi na wartość technologiczną mąki pszennej, *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 61, 5, 18-22.
214. Szafrńska A., 2018, Zróżnicowanie kwasowości tłuszczowej w zależności od gatunku botanicznego zboża, typu mąki i kaszy manny oraz czasu przechowywania, *Acta Agrophysica*, 25, 1, 95-105.
215. Szawara-Nowak G., 2013, Bioaktywne składniki pieczywa, *Towaroznawcze Problemy Jakości*, 3, 103-115.
216. Tolve R., Simonato B., Rainero G., Bianchi F., Rizzi C., Cervini M., Giuberti G., 2021, Wheat Bread Fortification by Grape Pomace Powder: Nutritional, Technological, Antioxidant and Sensory Properties, *Foods*, 10, 75.

217. Turksoy S., Keskin S., Ozkaya B., Ozkaya H., 2011, Effect of black carrot (*Daucus carota* L. spp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) fiber addition on the composition and quality characteristics of cookies, *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9, 57-60.
218. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS), 2014, USDA national nutrient database for standard reference, Release 27. Nutrient Data Laboratory Home Page.
219. Ustawa z 25.08.2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia (DZ.U. z 2017 r., poz. 60 i 149).
220. Voinea A., Stroe S. G., Codina G. G., 2020, The effect of sodium reduction by sea salt and dry sourdough addition on the wheat flour dough rheological properties, *Foods*, 9, 610.
221. Vulic J., Cebovic N., Canadanovic-Brunet M., Cetkovic S., Canadanovic M., Djilas M., Šaponjac T., 2014, In vivo and in vitro antioxidant effects of beetroot pomace extracts, *Journal of Functional Foods*, 6, 168-175.
222. Wang J., Rosell C. M., de Barber C. B., 2002, Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality, *Food chemistry*, 79, 2, 221-226.
223. Wang T., Jiang Y., Liu S., Obadi M., Xu B., Jiang S., 2022, Assessment of the influence of gluten quality on high land barley dough sheet quality by different instruments, *Journal of Texture Studies*, 53, 2, 296-306.
224. Wang X., Yingying O., Jun L., Minmin Z., Gang Z., Wei B., Frank B. H., 2014, Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies, *BMJ*, 349.
225. Wawrzyński M., 2019, Kwestia demograficzna i wybrane choroby cywilizacyjne jako wyzwania dla bezpieczeństwa polski do roku 2050, *Gdzie jesteśmy, dokąd zmierzamy*, 73.
226. Wiśniewska M., Boros D., 2019, Ziarno zbóż jako źródło składników odżywczych i prozdrowotnych W: Książka abstraktów – 40 Konferencja przetwórstwa zbóż i piekarstwa w Krynicy Morskiej, 37-38.
227. Wolska P., Ceglińska A., Drabarczyk vel Grabarczyk E., 2011, Wpływ dodatku mąki i płatków z szarłatu na jakość chleba pszennego, *Acta Agrophysica*, 17, 1, 219-228.
228. Wolska P., Ceglińska A., Wojniłowicz J., 2012, Ocena jakości pieczywa pszennego z udziałem mąki teffu, *Acta Agrophysica*, 19, 3, 689-697.
229. Wootton-Beard C., Ryan L., 2011, A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants, *Journal of Functional Foods*, 3, 329-334.

230. Wójcik M., Dzik D., Biernacka B., Różyło R., Miś A., Hassoon W. H., 2017, Effect of the addition of mixture of plant components on the mechanical properties of wheat bread, *International agrophysics*, 31, 4, 563-569.
231. Wójtowicz A., Kolasa A., Mościcki L., 2013, Influence of buckwheat addition on physical properties, texture and sensory characteristics of extruded corn snack, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 63, 4, 239-244.
232. Wruss J., Waldengerber G., Huemer S., Uygun P., Lanzerstorfer P., Muller U., Hoglinger O., Weghuber J., 2015, Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria, *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 46-55.
233. Xianggun G., Ohlander M., Jeppson N., Bjork L., 2000, Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrient in fruits of sea buckthorn during maturation, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 1485-1490.
234. Yashwant K., 2015, Beetroot: A super food, *International Journal of Engineering Studies and Technical Approach*, 1, 20-26.
235. Yen Gow-Chin, Chen Hui-Yin, 1995, Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 1, 27-32.
236. Zamani H., de Joode M. E. J. R., Hossein I. J., Henckens N. F. T., Guggeis M. A., Berends J. E., de Kok T. M. C. M., van Breda S. G. J., 2021, The benefits and risks of beetroot juice consumption: A systematic review, *Critical reviews in food science and nutrition*, 61, 5, 788-804.
237. Zarzycki P., Kasprzak M., Rzedzicki Z., Sobota A., Sykut-Domańska E., 2014, Właściwości reologiczne kleików z mąki pszennej jako wskaźnik oceny jej wartości wypiekowej, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6, 97, 50-66.
238. Zięć G., Gambuś H., Litwinek D., Nowotna A., Mikulec A., 2013, Ocena właściwości fizycznych pieczywa ze zróżnicowanym udziałem mąki owsianej, wypieczonego z ciasta prowadzonego bez udziału i z udziałem zakwasu żytniego, *Acta Agrophysica*, 20, 4, 721-734.
239. Żakowska-Biemans S., Jeżewska-Zychowicz M., Sajdakowska M., 2018, Konsumenci wobec zmian na rynku pieczywa ich zróżnicowanie i uwarunkowania wyboru, *Handel Wewnętrzny*, 3, 374, 424-437.

9. Spis tabel

Tabela 1. Zawartość podstawowych składników odżywczych badanej mąki (według wskazań producenta na opakowaniu)	41
Tabela 2. Zawartość podstawowych składników odżywczych wybranych produktów z korzenia buraka ćwikłowego (na podstawie tabel wartości odżywczej IŻŻ w Warszawie).....	41
Tabela 3. Receptury chlebów pszennych wzbogacanych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego	50
Tabela 4. Receptury chlebów pszennych wzbogacanych wytlókami z korzenia buraka ćwikłowego	50
Tabela 5. Receptury chlebów pszennych wzbogacanych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego	50
Tabela 6. Receptury chlebów pszenno-żytnich wzbogacanych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego	50
Tabela 7. Receptury chlebów pszenno-żytnich wzbogacanych wytlókami z korzenia buraka ćwikłowego	50
Tabela 8. Receptury chlebów pszenno-żytnich wzbogacanych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego	51
Tabela 9. Receptury chlebów pszenno-owsianych wzbogacanych sokiem z korzenia buraka ćwikłowego	51
Tabela 10. Receptury chlebów pszenno-owsianych wzbogacanych wytlókami z korzenia buraka ćwikłowego	51
Tabela 11. Receptury chlebów pszenno-owsianych wzbogacanych proszkiem z korzenia buraka ćwikłowego	51
Tabela 12. Charakterystyka fizykochemiczna mąki pszennej i mieszanek mąk użytych do wypieku chleba	61
Tabela 13. Charakterystyka ilościowa i jakościowa glutenu mąki pszennej i mieszanek wypiekowych.....	64
Tabela 14. Zawartość barwników betalainowych w badanych dodatkach z korzenia buraka ćwikłowego	66
Tabela 15. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca badanych dodatków z korzenia buraka ćwikłowego.....	67
Tabela 16. Wyniki analizy farinograficznej ciast z mąki pszennej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	69
Tabela 17. Wyniki analizy ekstensograficznej ciast z mąki pszennej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	73
Tabela 18. Wyniki analizy amylograficznej zawiesin mąki pszennej z dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	77
Tabela 19. Wyniki analizy fermentograficznej ciast z mąki pszennej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	80
Tabela 20. Wyniki analizy farinograficznej ciast z mieszanki pszenno-żytnej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	82
Tabela 21. Wyniki analizy ekstensograficznej ciast z mieszanki pszenno-żytnej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	86
Tabela 22. Wyniki analizy amylograficznej zawiesin z mieszanki pszenno-żytnej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	88

Tabela 23. Wyniki analizy fermentograficznej ciast z mieszanki pszenno-żytniej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	90
Tabela 24. Wyniki analizy farinograficznej ciast z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	93
Tabela 25. Wyniki analizy ekstensograficznej ciast z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	98
Tabela 26. Wyniki analizy amylograficznej zawiesin z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	101
Tabela 27. Wyniki analizy fermentograficznej ciast z mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	103
Tabela 28. Zawartość związków betalainowych w kęsie ciasta pszennego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	105
Tabela 29. Zawartość związków betalainowych w kęsie ciasta pszenno-żytniego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	107
Tabela 30. Zawartość związków betalainowych w kęsie ciasta pszenno-owsianego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	108
Tabela 31. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca kęsa ciasta pszennego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	109
Tabela 32. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca kęsa ciasta pszenno-żytniego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	110
Tabela 33. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca (ABTS, DPPH) kęsa ciasta pszenno-owsianego (250 g ś.m.) wzbogaconego dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	111
Tabela 34. Parametry procesu wypiekowego badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	113
Tabela 35. Parametry fizykochemiczne badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	115
Tabela 36. Parametry tekstury miękiszu (test TPA) badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	118
Tabela 37. Parametry barwy skórki badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	120
Tabela 38. Parametry barwy miękiszu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	121
Tabela 39. Wartość odżywcza badanego pieczywa (na podstawie tabel wartości odżywczej IŻŻ).....	130
Tabela 40. Wartość odżywcza badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	132
Tabela 41. Zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	133

Tabela 42. Profil związków betalainowych zidentyfikowanych metodą UPLC-PDA-ESI-MS	134
Tabela 43. Oszacowana zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. skórki].....	135
Tabela 44. Zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	136
Tabela 45. Oszacowana zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś.m. miększu]	138
Tabela 46. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca skórki badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	139
Tabela 47. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca miększu badanych chlebów pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	140
Tabela 48. Parametry procesu wypiekowego badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	141
Tabela 49. Parametry fizykochemiczne badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	143
Tabela 50. Parametry tekstury miększu (test TPA) badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	145
Tabela 51. Parametry barwy skórki chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	147
Tabela 52. Parametry barwy miększu chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	148
Tabela 53. Wartość odżywcza badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego.....	158
Tabela 54. Zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	159
Tabela 55. Zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	160
Tabela 56. Oszacowana zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś. m. miększu]	162
Tabela 57. Oszacowana zawartość związków betalainowych w miększu badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś. m. miększu].....	163
Tabela 58. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca skórki badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	164

Tabela 59. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca miękiszu badanych chlebów pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	165
Tabela 60. Parametry procesu wypiekowego badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	166
Tabela 61. Parametry fizykochemiczne badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	168
Tabela 62. Parametry tekstury miękiszu (test TPA) badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	170
Tabela 63. Parametry barwy skórki badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	171
Tabela 64. Parametry barwy miękiszu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	172
Tabela 65. Wartość odżywcza badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	182
Tabela 66. Zawartość związków betalainowych w skórce badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	184
Tabela 67. Oszacowana zawartość związków betalainowych w skórce chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś. m. skórki].....	186
Tabela 68. Zawartość związków betalainowych w miękiszu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	187
Tabela 69. Oszacowana zawartość związków betalainowych w miękiszu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego metodą prostej normalizacji [mg/100 g ś. m. miękiszu].....	189
Tabela 70. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca skórki badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	190
Tabela 71. Zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniająca miękiszu badanych chlebów pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego	191
Tabela 72. Karta 5-punktowej oceny organoleptycznej chlebów.....	276
Tabela 73. Formularz 5-punktowej oceny organoleptycznej chlebów.....	277
Tabela 74. Formularz oceny konsumenckiej chlebów.....	278

10. Spis wykresów

Wykres 1a. Wyniki oceny organoleptycznej chleba pszenno-żytniego – próba kontrolna, bez dodatków.....	122
Wykres 1b. Wyniki oceny organoleptycznej chlebow pszenno-żytnich z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....	123
Wykres 1c. Wyniki oceny organoleptycznej chlebow pszenno-żytnich z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....	124
Wykres 1d. Wyniki oceny organoleptycznej chlebow pszenno-żytnich z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.....	125
Wykres 1e. Wyniki oceny konsumenckiej chleba pszenno-żytniego – próba kontrolna, bez dodatków.....	126
Wykres 1f. Wyniki oceny konsumenckiej chlebow pszenno-żytnich z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....	127
Wykres 1g. Wyniki oceny konsumenckiej chlebow pszenno-żytnich z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....	128
Wykres 1h. Wyniki oceny konsumenckiej chlebow pszenno-żytnich z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.....	129
Wykres 2a. Wyniki oceny organoleptycznej chleba pszenno-żytniego – próba kontrolna, bez dodatków.....	149
Wykres 2b. Wyniki oceny organoleptycznej chlebow pszenno-żytnich z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....	150
Wykres 2c. Wyniki oceny organoleptycznej chlebow pszenno-żytnich z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....	151
Wykres 2d. Wyniki oceny organoleptycznej chlebow pszenno-żytnich z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.....	152
Wykres 2e. Wyniki oceny konsumenckiej chleba pszenno-żytniego – próba kontrolna, bez dodatków.....	153
Wykres 2f. Wyniki oceny konsumenckiej chlebow pszenno-żytnich z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....	154
Wykres 2g. Wyniki oceny konsumenckiej chlebow pszenno-żytnich z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....	155
Wykres 2h. Wyniki oceny konsumenckiej chlebow pszenno-żytnich z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.....	156
Wykres 3a. Wyniki oceny organoleptycznej chleba pszenno-owsianego – próba kontrolna, bez dodatków.....	173
Wykres 3b. Wyniki oceny organoleptycznej chlebow pszenno-owsianych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....	174

Wykres 3c. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-owsianych z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....	175
Wykres 3d. Wyniki oceny organoleptycznej chlebów pszenno-owsianych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.....	176
Wykres 3e. Wyniki oceny konsumenckiej chleba pszenno-owsianego – próba kontrolna, bez dodatków.....	177
Wykres 3f. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-owsianych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....	178
Wykres 3g. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-owsianych z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....	179
Wykres 3h. Wyniki oceny konsumenckiej chlebów pszenno-owsianych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.....	180
Wykres 4. Farinogram ciasta z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków)	225
Wykres 5. Farinogramy ciast z mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego	226
Wykres 6. Farinogramy ciast z mąki pszennej z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego	227
Wykres 7. Farinogramy ciast z mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego	228
Wykres 8. Farinogram ciasta z mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków).....	229
Wykres 9. Farinogramy ciasta z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego	230
Wykres 10. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego	231
Wykres 11. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego	232
Wykres 12. Farinogram ciasta z mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków).	233
Wykres 13. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.	234
Wykres 14. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego	235
Wykres 15. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.	236
Wykres 16. Ekstensogram ciasta z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków)	237
Wykres 17. Ekstensogramy ciast z mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego	238
Wykres 18. Ekstensogramy ciast z mąki pszennej z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego	239
Wykres 19. Ekstensogramy ciast z mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego ...	240
Wykres 20. Ekstensogram ciasta z mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków).....	241
Wykres 21. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.	242

Wykres 22. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego	243
Wykres 23. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego	244
Wykres 24. Ekstensogram ciasta z mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków)	245
Wykres 25. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego	246
Wykres 26. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego	247
Wykres 27. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego	248
Wykres 28. Amylogram zawiesiny z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków).....	249
Wykres 29. Amylogramy zawiesin mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.	250
Wykres 30. Amylogramy zawiesin mąki pszennej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego	251
Wykres 31. Amylogramy zawiesin mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego ...	252
Wykres 32. Amylogram zawiesiny mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków).	253
Wykres 33. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego	254
Wykres 34. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-żytniej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego	255
Wykres 35. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego	256
Wykres 36. Amylogram zawiesiny mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków).....	257
Wykres 37. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego	258
Wykres 38. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego	259
Wykres 39. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego	260
Wykres 40. Fermentogram ciasta z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków).	261
Wykres 41. Fermentogramy ciast z mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.	261
Wykres 42. Fermentogramy ciast z mąki pszennej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego	262
Wykres 43. Fermentogramy ciast z mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego..	262
Wykres 44. Fermentogram ciasta z mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków).	263
Wykres 45. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.	263

Wykres 46. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego.	264
Wykres 47. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.	264
Wykres 48. Fermentogram ciasta z mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków).	265
Wykres 49. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.	265
Wykres 50. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego.	266
Wykres 51. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.	266
Wykres 55. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań farinograficznych ciasta.	273
Wykres 56. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań ekstensograficznych ciasta.	274
Wykres 57. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań fermentograficznych ciasta.	275
Wykres 58. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań amylograficznych mąk.	276
Wykres 59. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w ciastach.	277
Wykres 60. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej ciast.	278
Wykres 61. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań parametrów procesu wypiekowego chlebów.	279
Wykres 62. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań parametrów fizykochemicznych chlebów.	280
Wykres 63. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań parametrów tekstury miękkiszu chlebów.	281
Wykres 64. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w miękkiszu chlebów pszennych.	282
Wykres 65. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w skórce chlebów pszennych.	283
Wykres 66. Mapa ciepła korelacji pomiędzy wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej miękkiszu chlebów pszennych.	284
Wykres 67. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszennych.	285
Wykres 68. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w miękkiszu chlebów pszenno-żytnich.	286
Wykres 69. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w skórce chlebów pszenno-żytnich.	287

Wykres 70. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej miąższu chlebów pszenno-żytnich.....	288
Wykres 71. Mapa ciepła korelacji pomiędzy wynikami zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszenno-żytnich.	289
Wykres 72. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych, polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej miąższu chlebów pszenno-owsianych.	290
Wykres 73. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych, polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszenno-owsianych.	291
Wykres 74. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej miąższu chlebów pszenno-owsianych.	292
Wykres 75. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszenno-owsianych.....	293

11. Spis fotografii i rysunków

Spis rysunków

Rysunek 1. Struktury chemiczne barwników betalainowych36

Spis fotografii

Fotografia 1. Chleby pszenne z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego267

Fotografia 2. Chleby pszenne z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego267

Fotografia 3. Chleby pszenne z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego267

Fotografia 4. Przekroje chlebów pszennych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego267

Fotografia 5. Przekroje chlebów pszennych z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....267

Fotografia 6. Przekroje chlebów pszennych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego267

Fotografia 7. Chleby pszenno-żytnie z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego268

Fotografia 8. Chleby pszenno-żytnie z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego.....268

Fotografia 9. Chleby pszenno-żytnie z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego268

Fotografia 10. Przekroje chlebów pszenno-żytnich z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....268

Fotografia 11. Przekroje chlebów pszenno-żytnich z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego
.....268

Fotografia 12. Przekroje chlebów pszenno-żytnich z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego..268

Fotografia 13. Chleby pszenno-owsiane z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego.....269

Fotografia 14. Chleby pszenno-owsiane z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego269

Fotografia 15. Chleby pszenno-owsiane z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego.....269

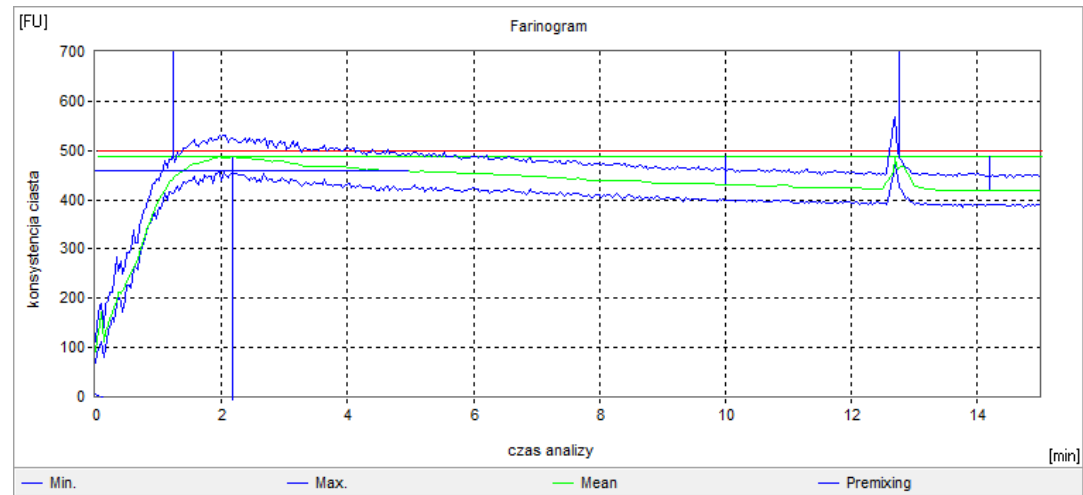
Fotografia 16. Przekroje chlebów pszenno-owsianych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego .269

Fotografia 17. Przekroje chlebów pszenno-owsianych z udziałem wytlóków z korzenia buraka
ćwikłowego269

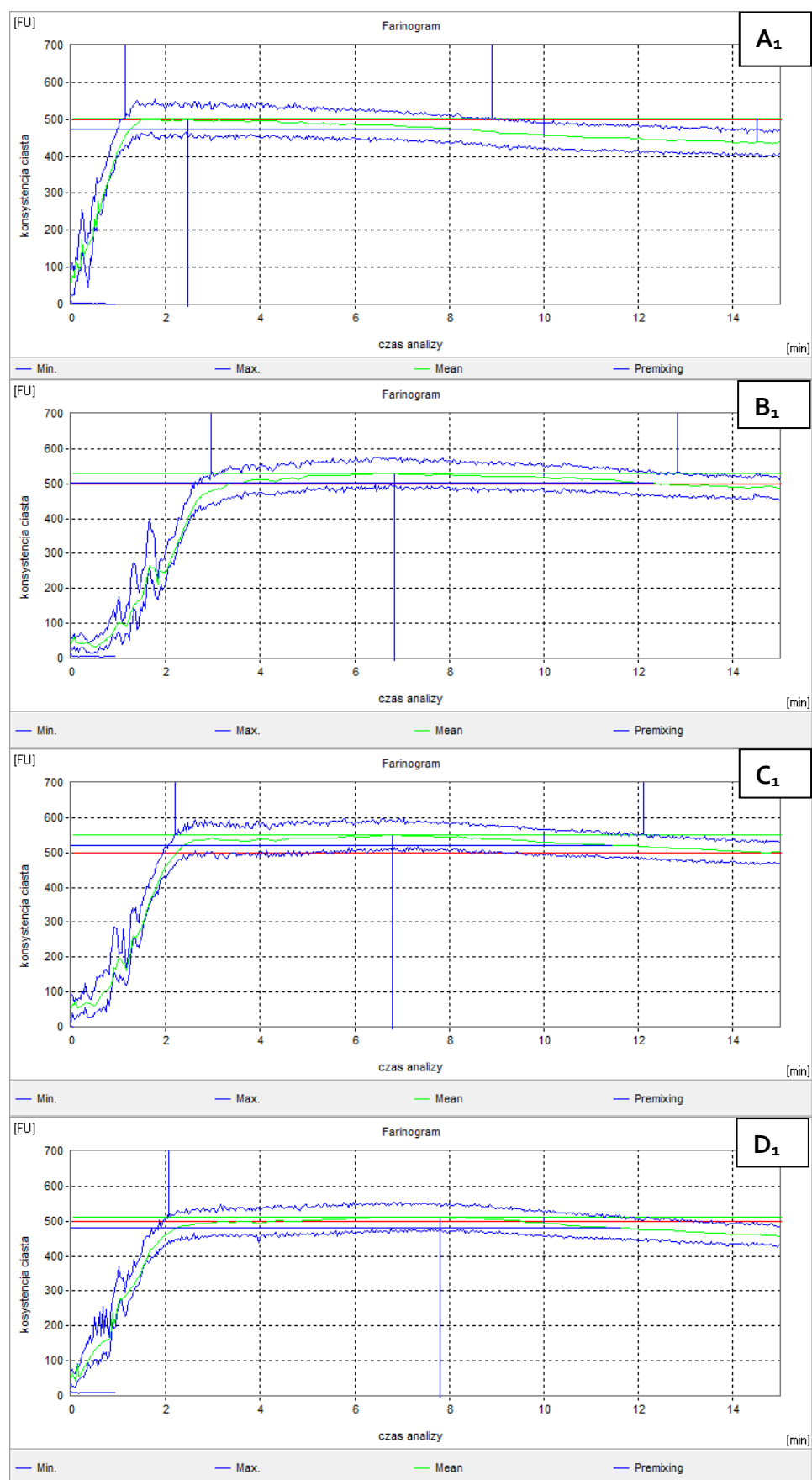
Fotografia 18. Przekroje chlebów pszenno-owsianych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego
.....269

12. Załączniki

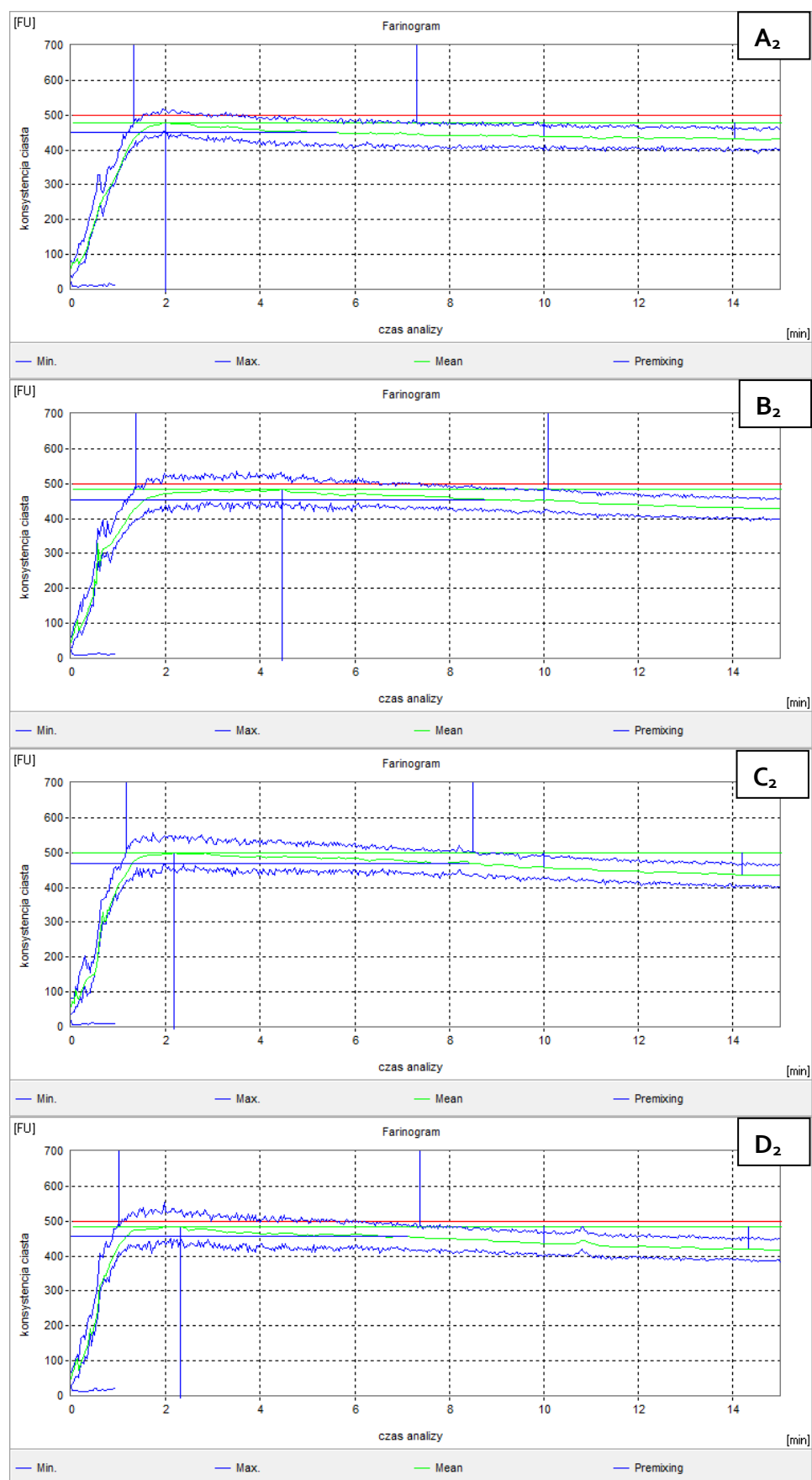
Załącznik 1. Wykresy z analizy farinograficznej badanych ciast pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



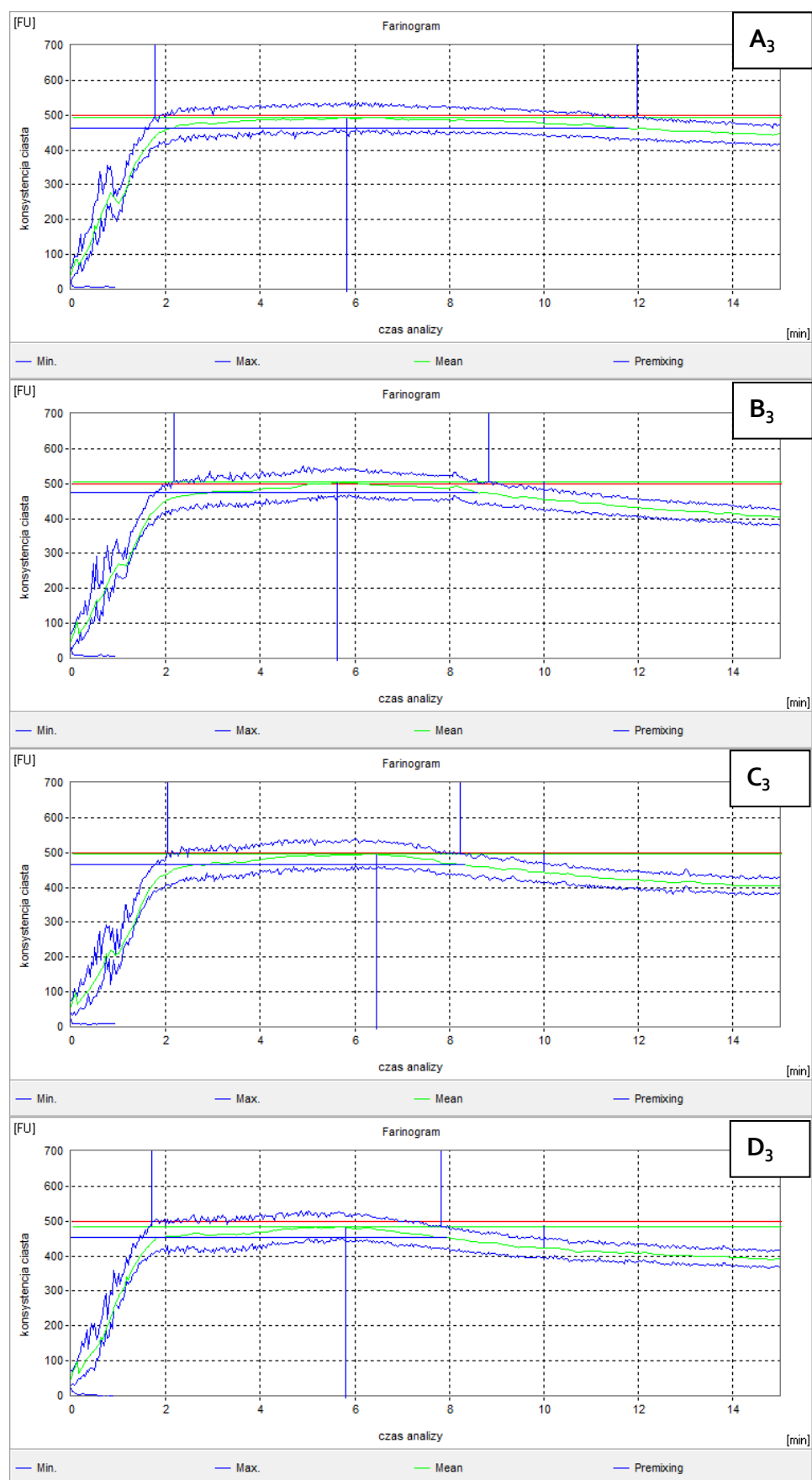
Wykres 4. Farinogram ciasta z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 5. Farinogramy ciast z mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

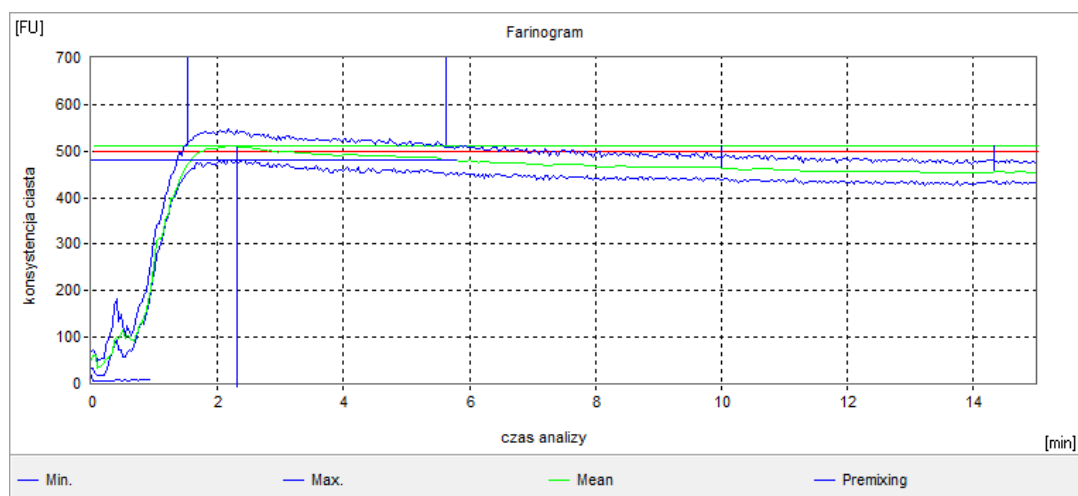


Wykres 6. Farinogramy ciast z mąki pszennej z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wyłoków, B₂ – 5% udział wyłoków, C₂ – 7,5% udział wyłoków, D₂ – 10% udział wyłoków

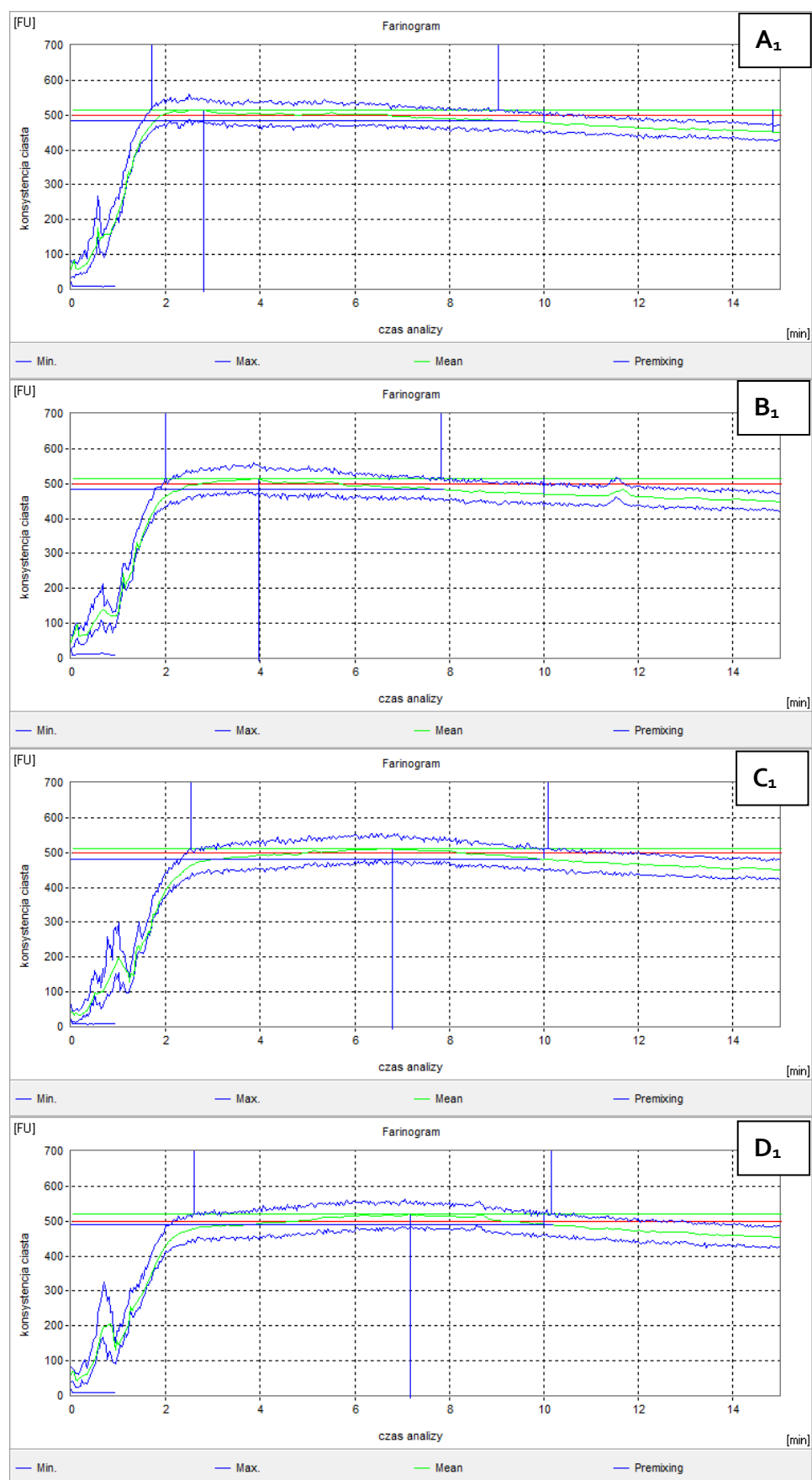


Wykres 7. Farinogramy ciast z mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

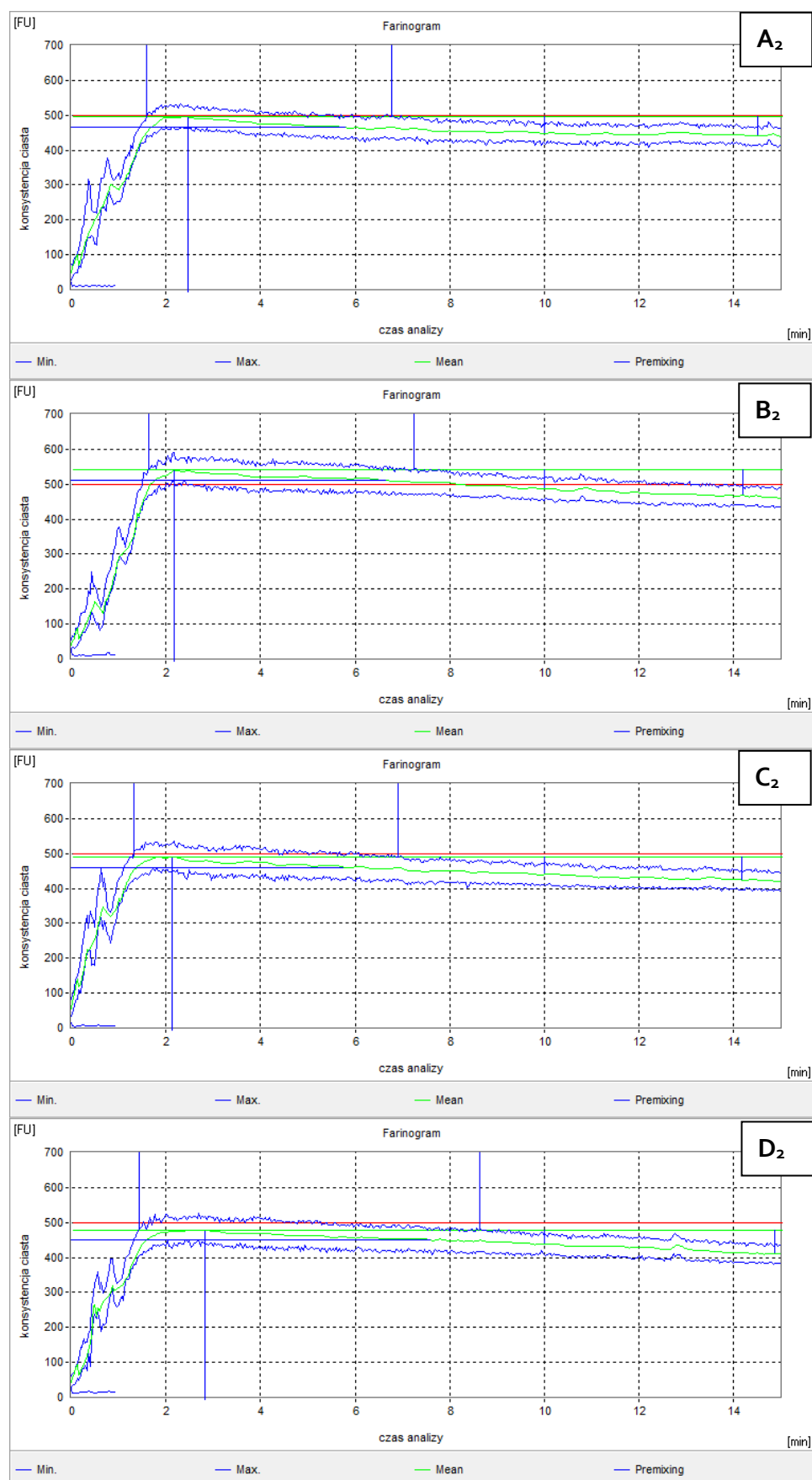
Załącznik 2. Wykresy z analizy farinograficznej badanych ciast pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



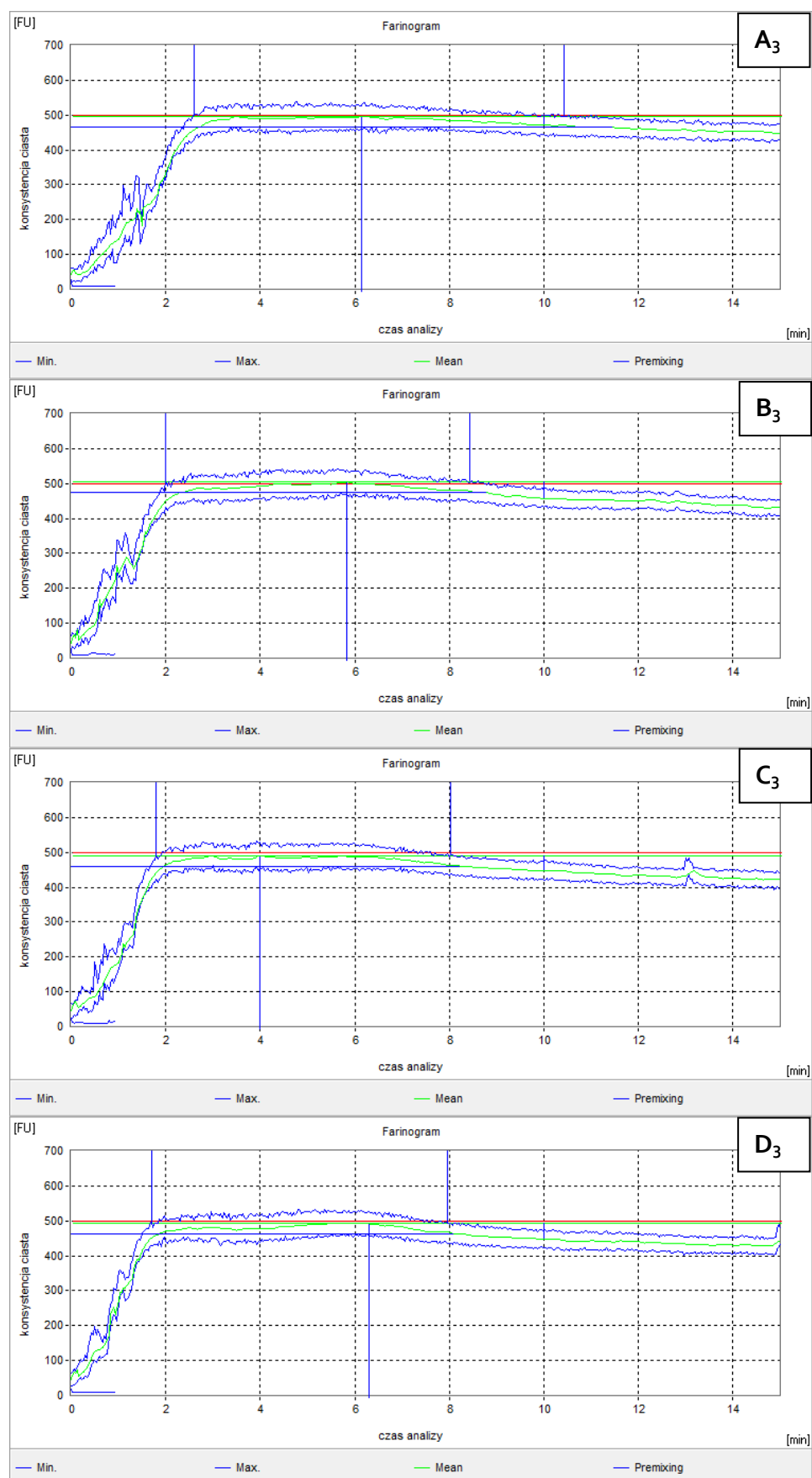
Wykres 8. Farinogram ciasta z mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 9. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

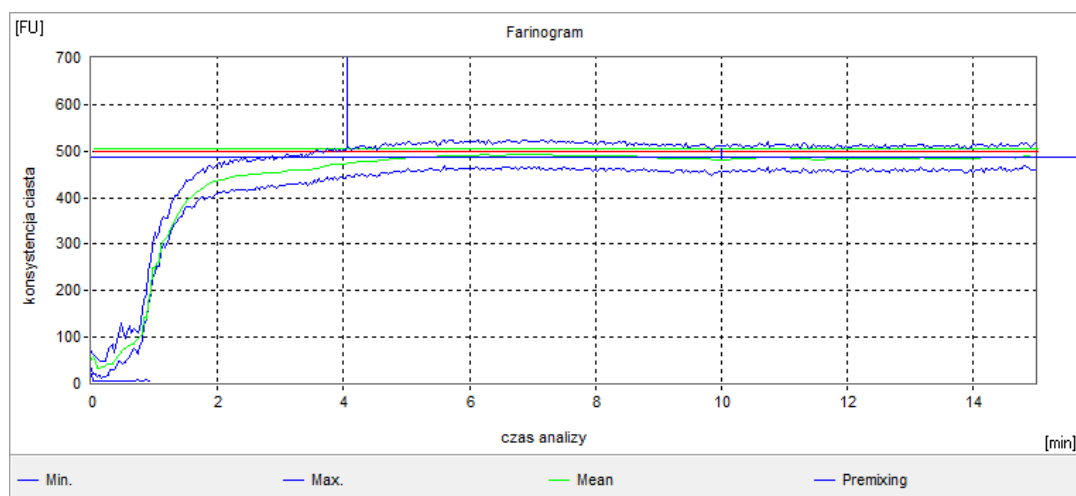


Wykres 10. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂– 2,5% udział wyłoków, B₂– 5% udział wyłoków, C₂– 7,5% udział wyłoków, D₂– 10% udział wyłoków

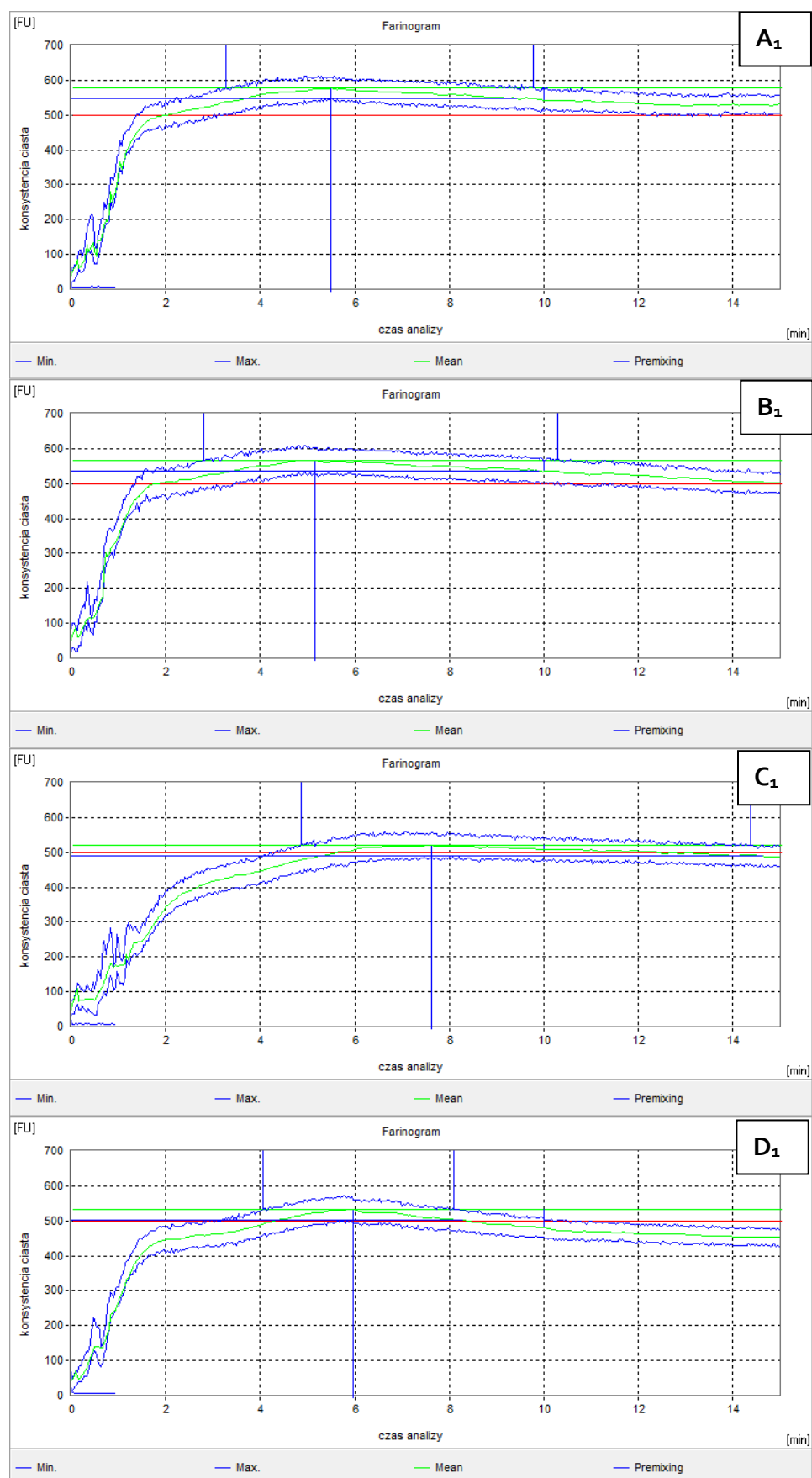


Wykres 11. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

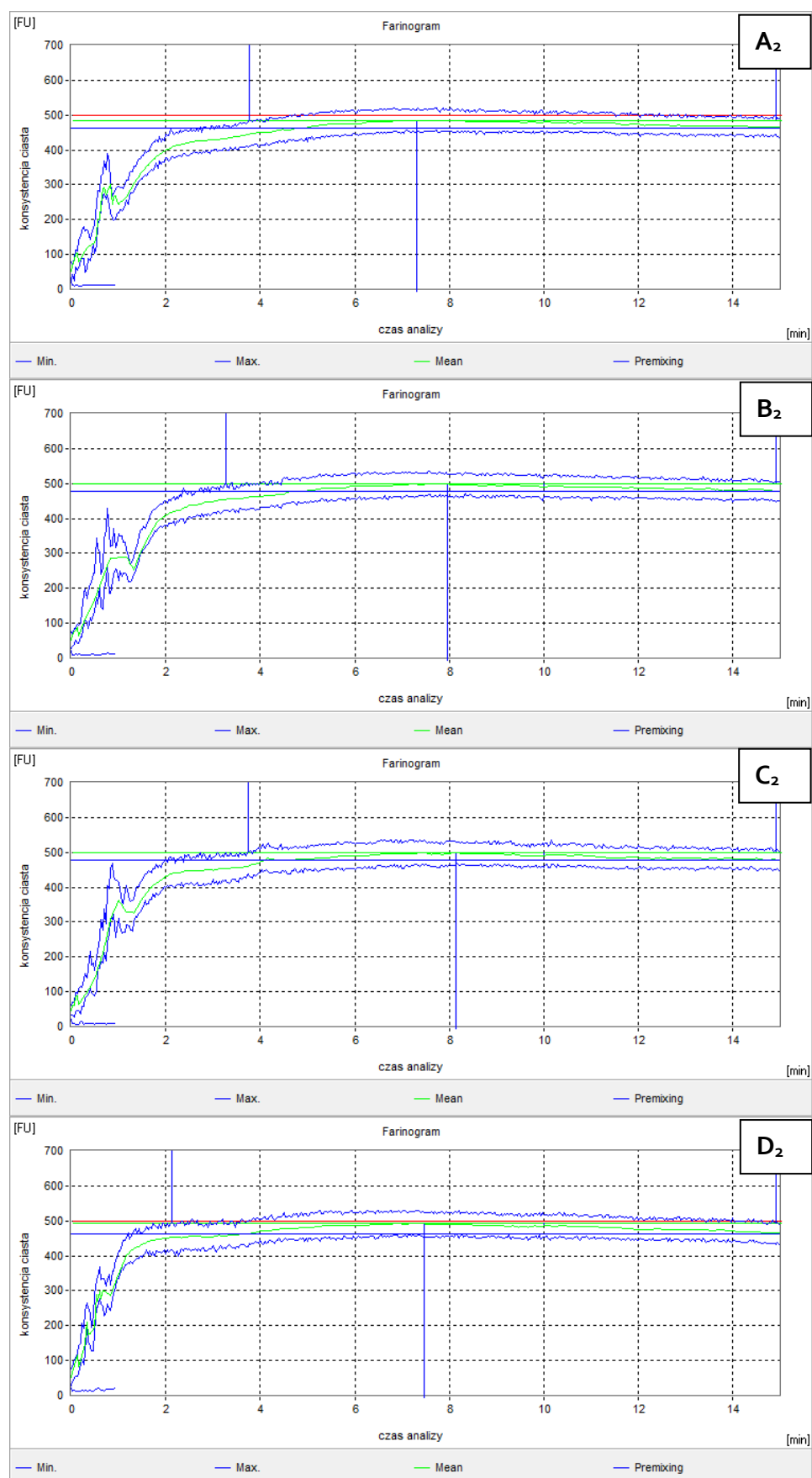
Załącznik 3. Wykresy z analizy farinograficznej badanych ciast pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



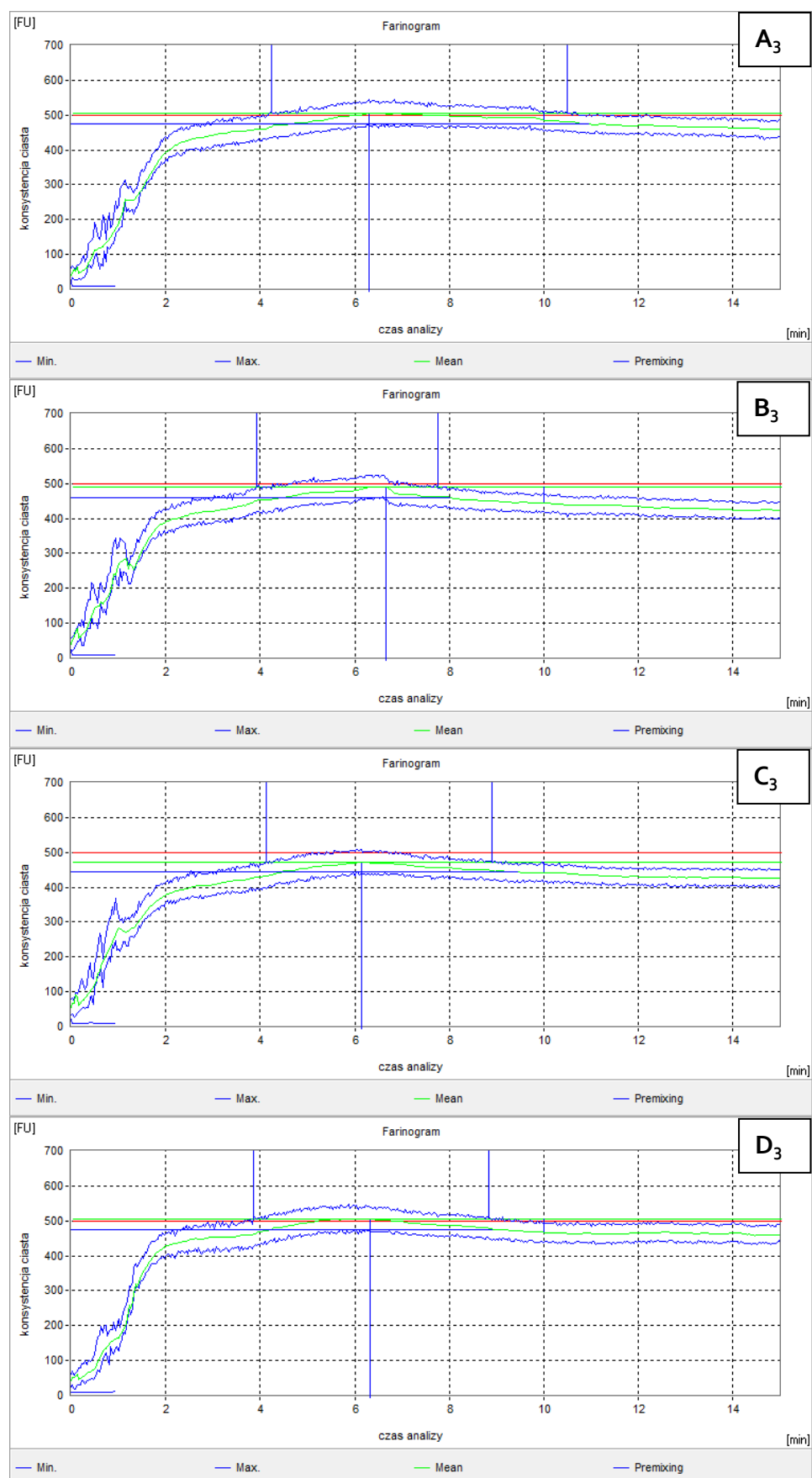
Wykres 12. Farinogram ciasta z mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 13. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

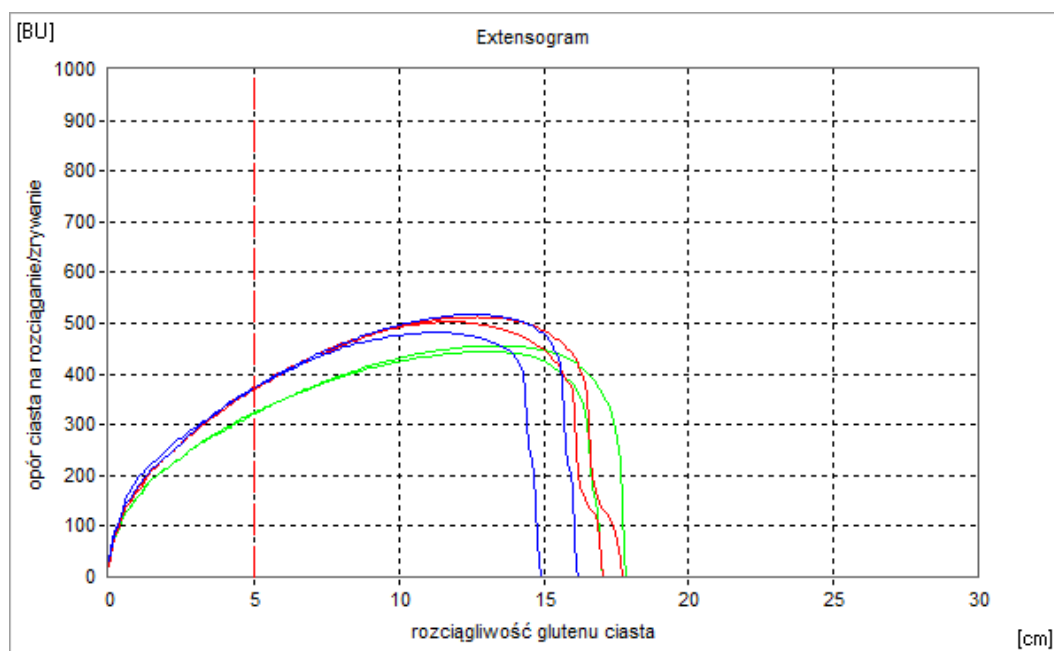


Wykres 14. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wytlóków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂– 2,5% udział wytlóków, B₂– 5% udział wytlóków, C₂– 7,5% udział wytlóków, D₂– 10% udział wytlóków

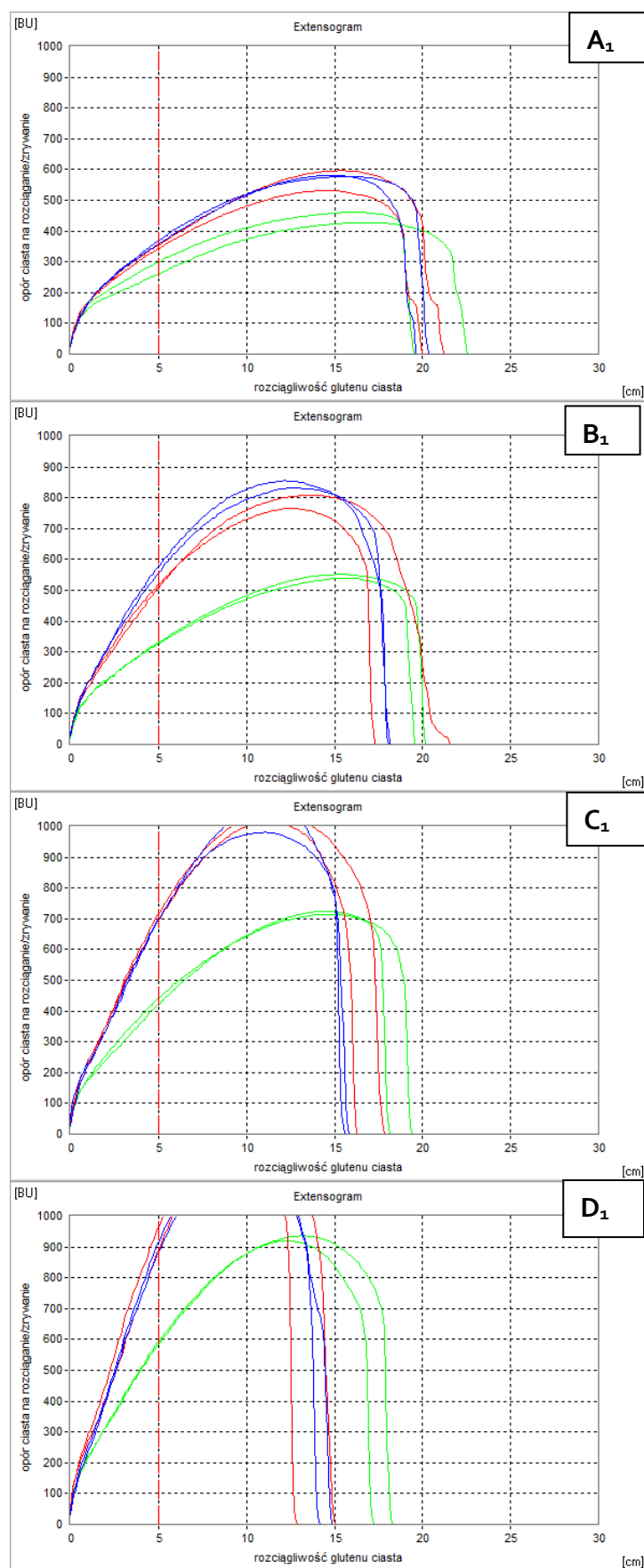


Wykres 15. Farinogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

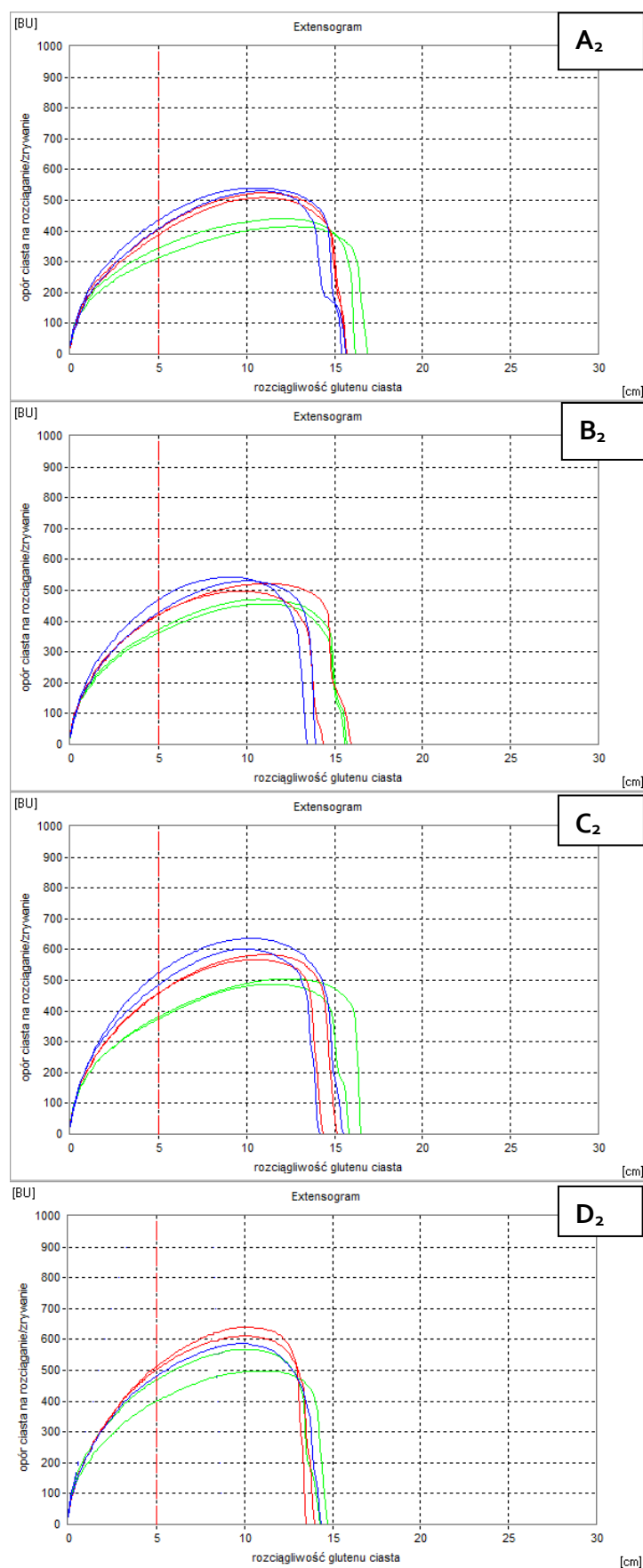
Załącznik 4. Wykresy z analizy ekstensograficznej badanych ciast pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



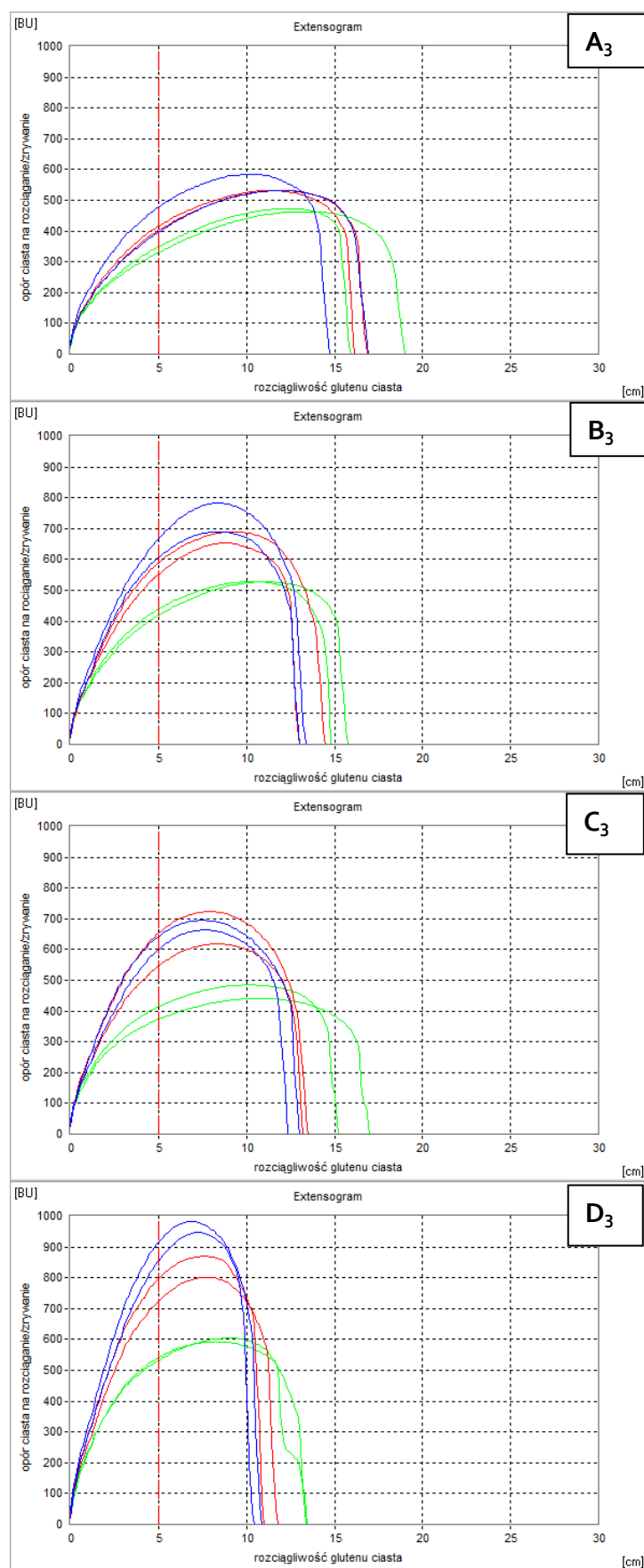
Wykres 16. Ekstensogram ciasta z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 17. Ekstensogramy ciast z mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

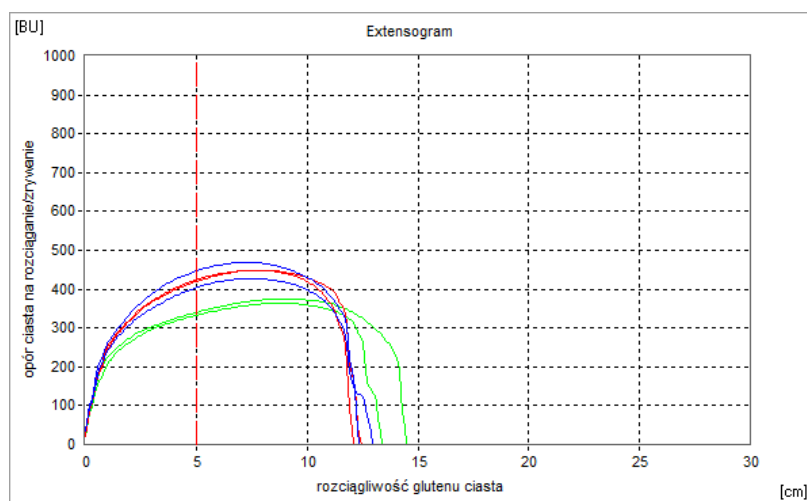


Wykres 18. Ekstensogramy ciast z mąki pszennej z udziałem wycłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wycłoków, B₂ – 5% udział wycłoków, C₂ – 7,5% udział wycłoków, D₂ – 10% udział wycłoków

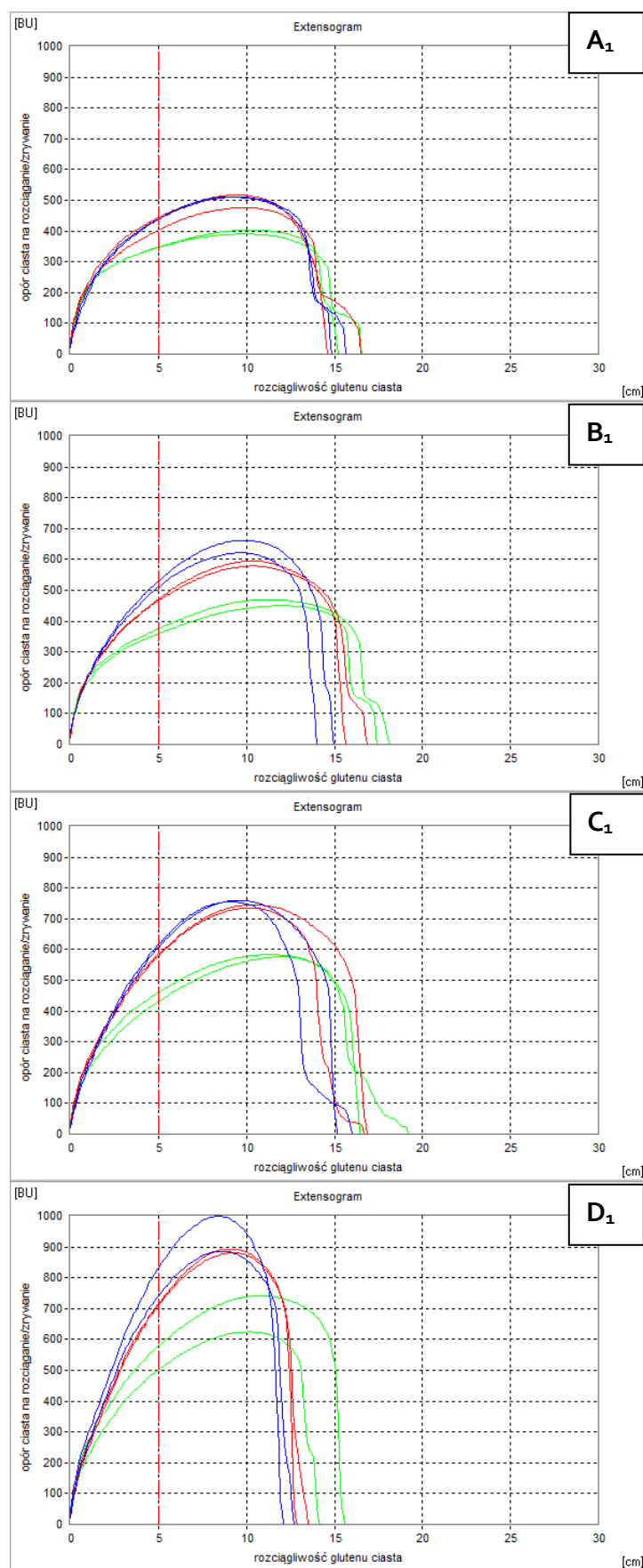


Wykres 19. Ekstesogramy ciast z mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

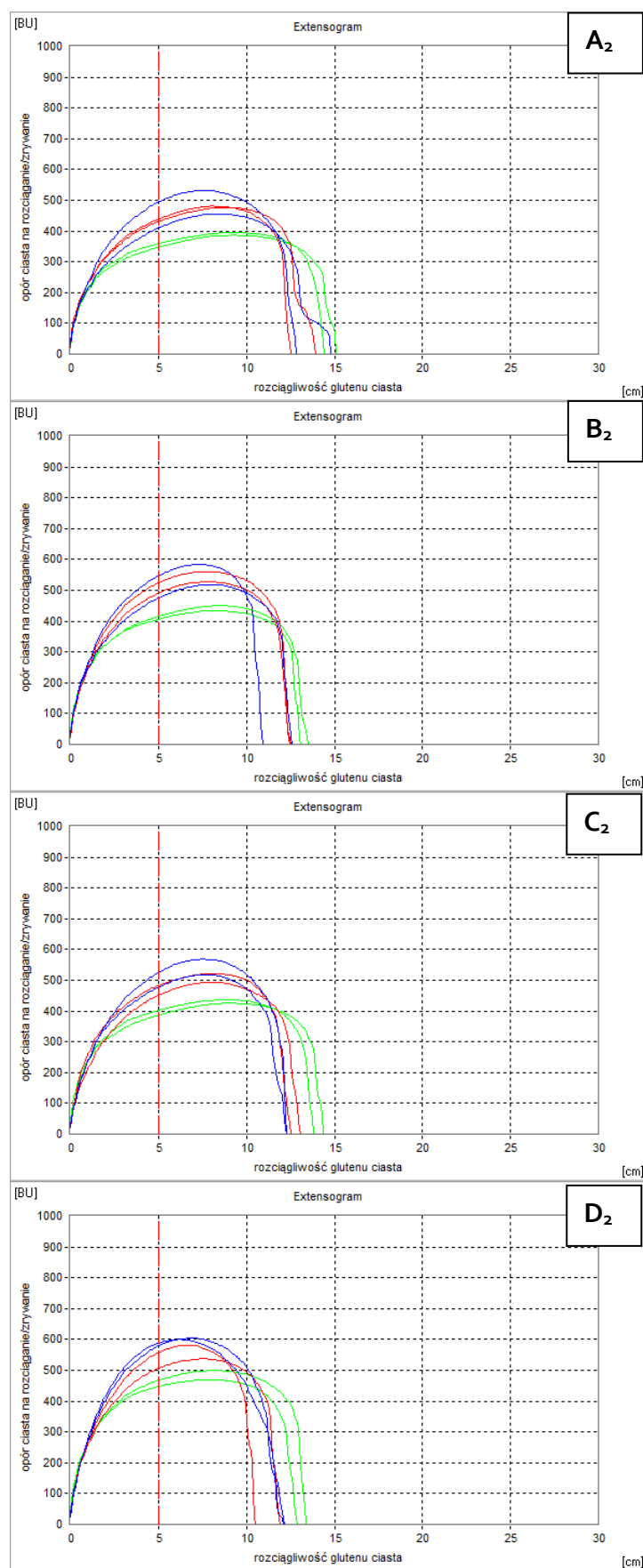
Załącznik 5. Wykresy z analizy ekstensograficznej badanych ciast pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



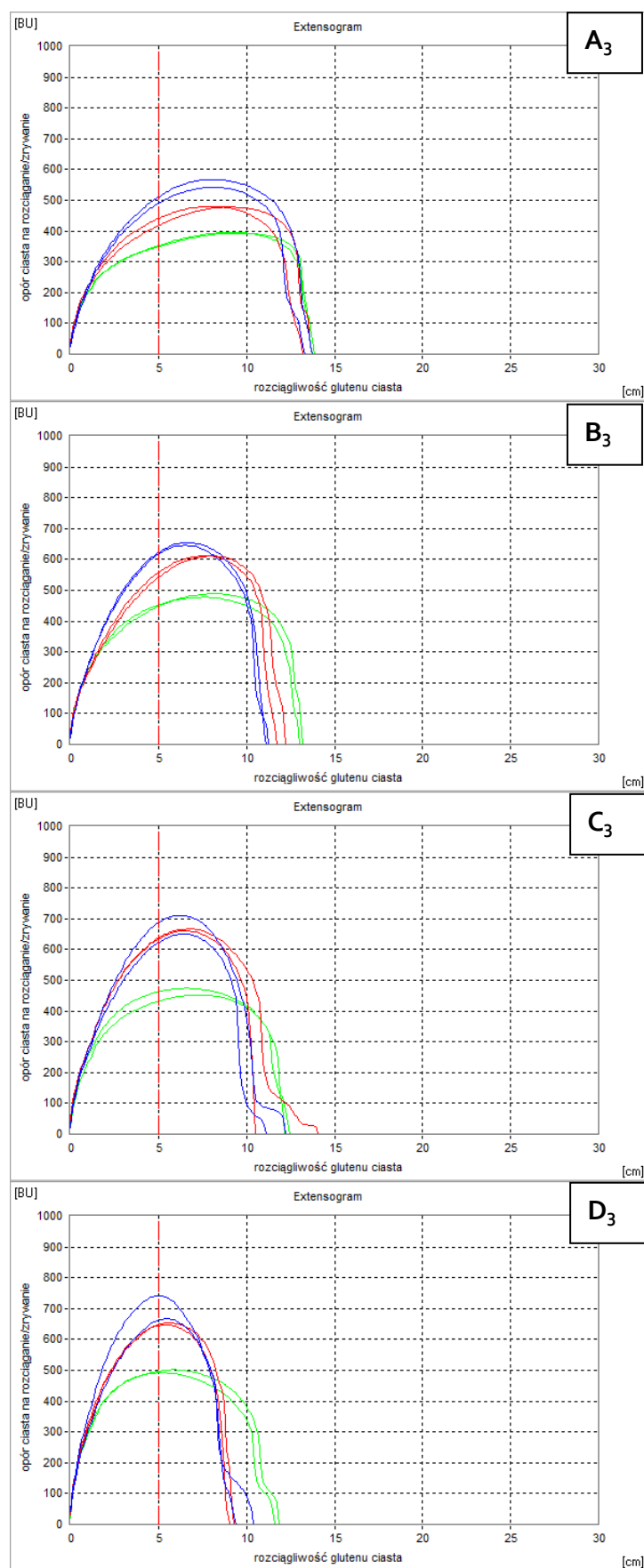
Wykres 20. Ekstensogram ciasta z mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 21. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

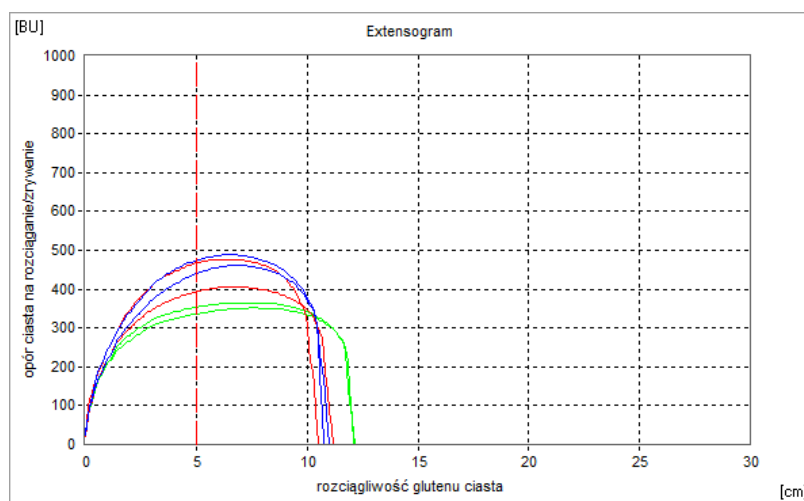


Wykres 22. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wyłoków, B₂ – 5% udział wyłoków, C₂ – 7,5% udział wyłoków, D₂ – 10% udział wyłoków

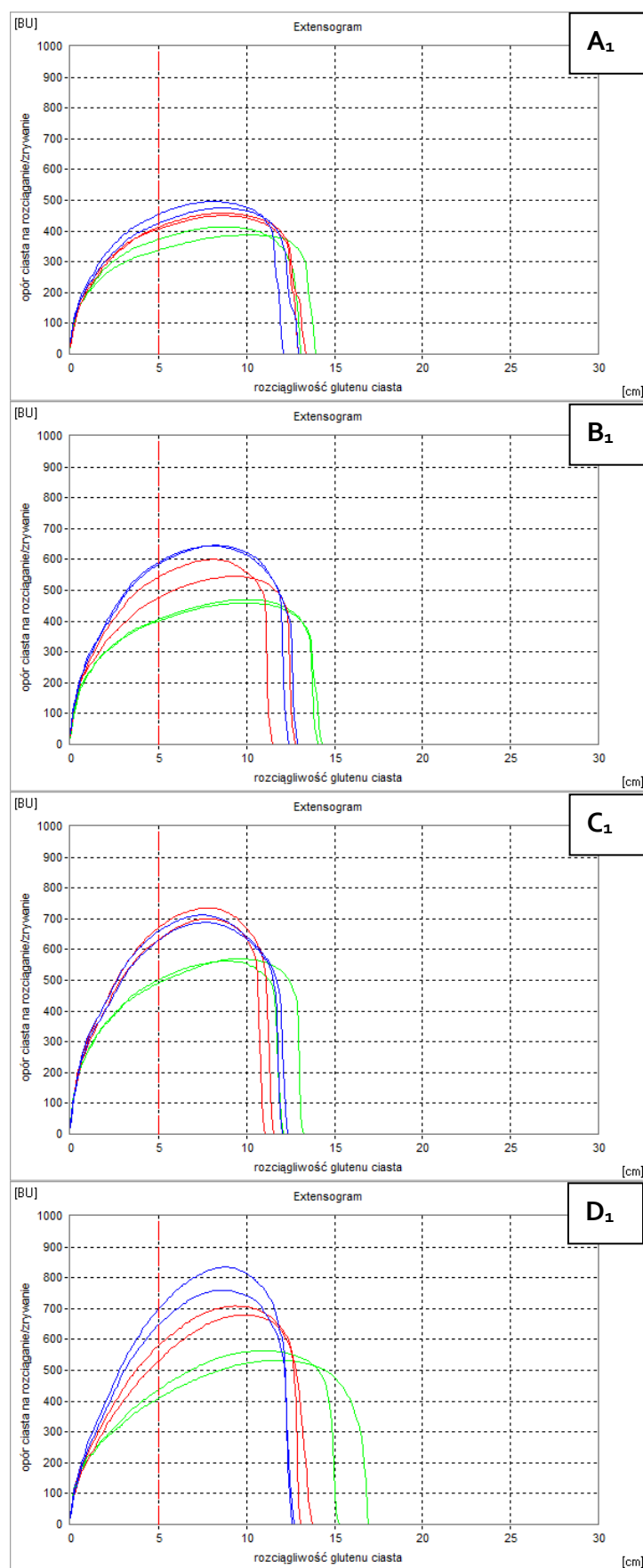


Wykres 23. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

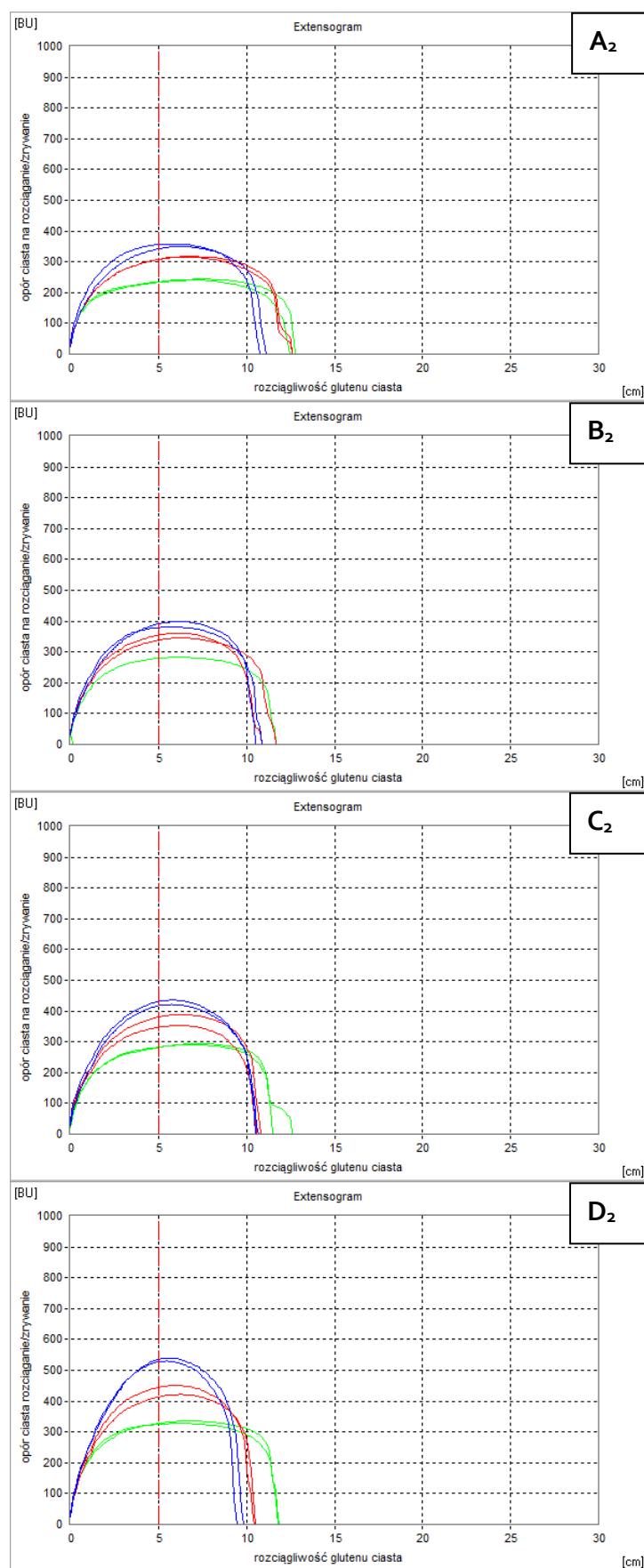
Załącznik 6. Wykresy z analizy ekstensograficznej badanych ciast pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



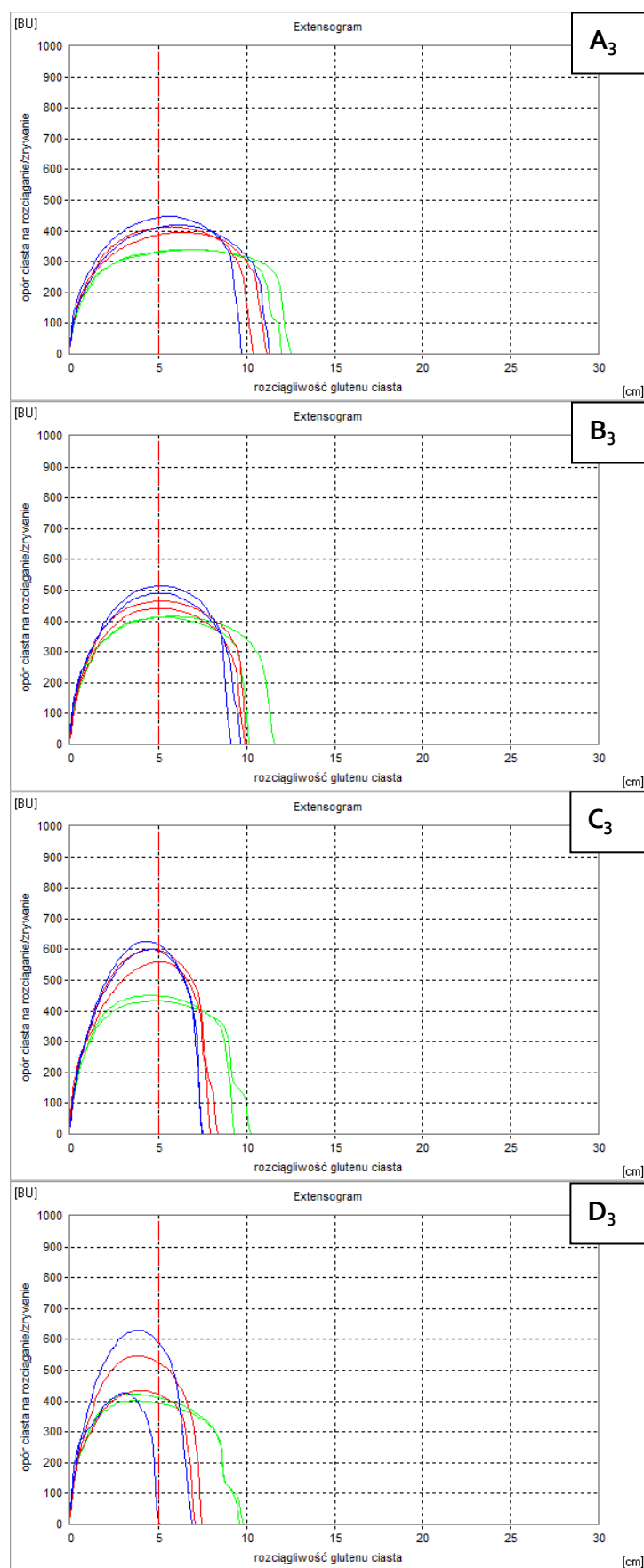
Wykres 24. Ekstensogram ciasta z mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 25. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

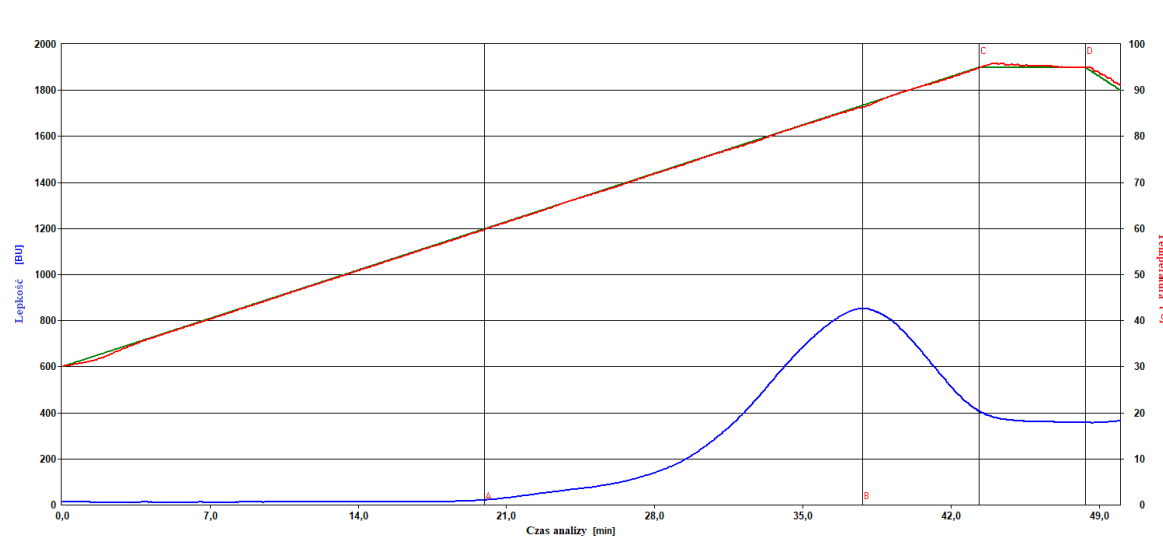


Wykres 26. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wyłoków, B₂ – 5% udział wyłoków, C₂ – 7,5% udział wyłoków, D₂ – 10% udział wyłoków).

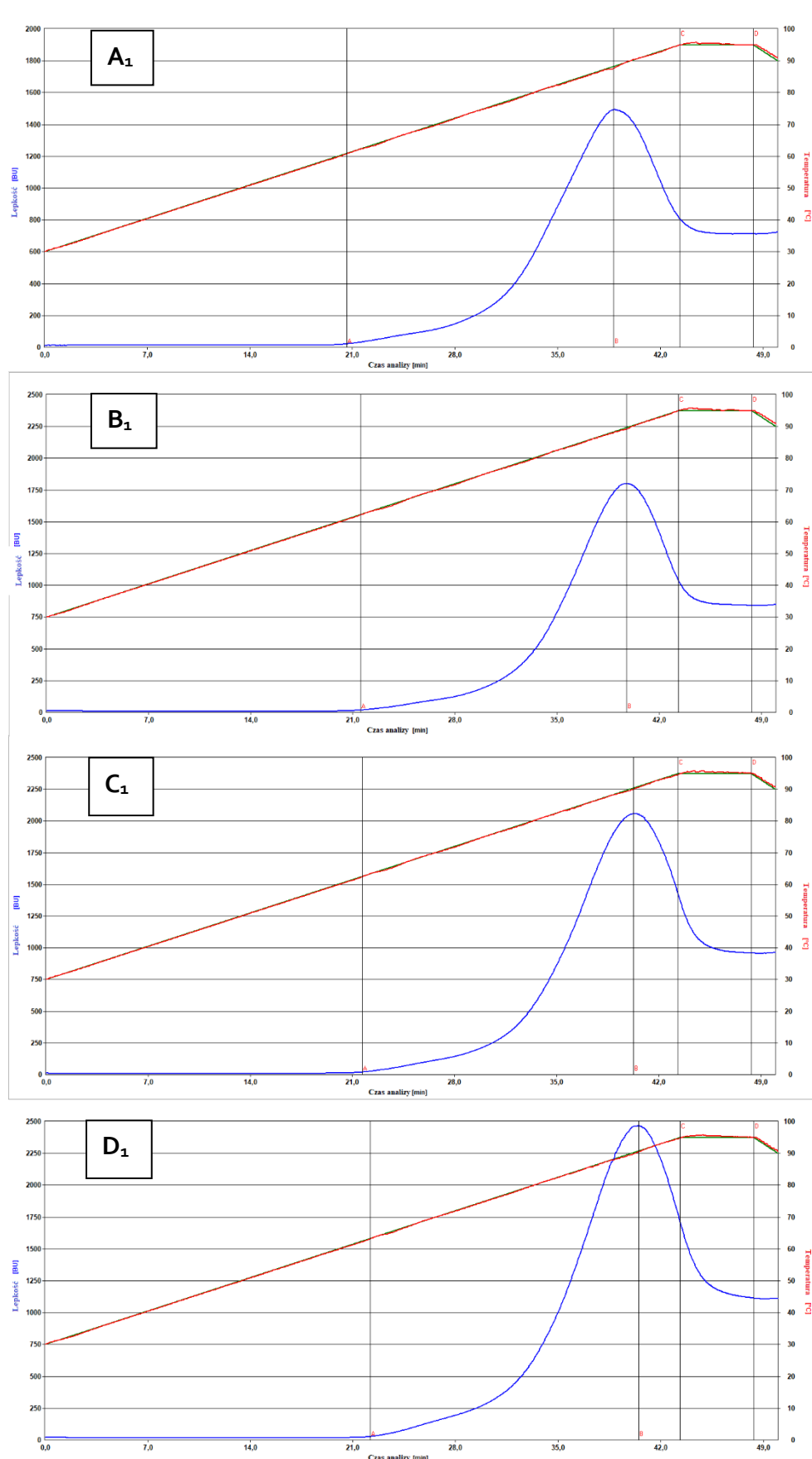


Wykres 27. Ekstensogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

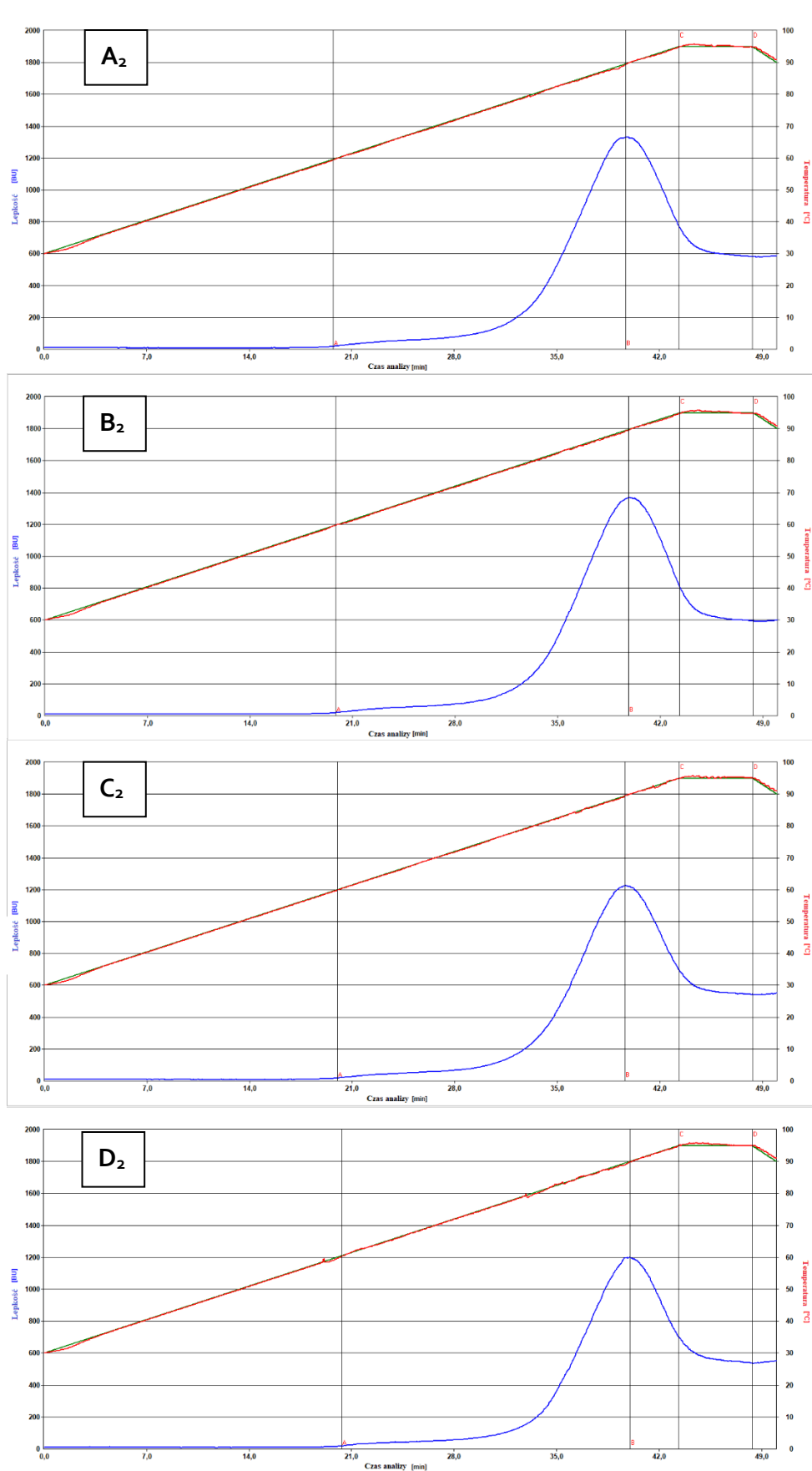
Załącznik 7. Wykresy z analizy amylograficznej badanych zawiesin mąki pszennej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



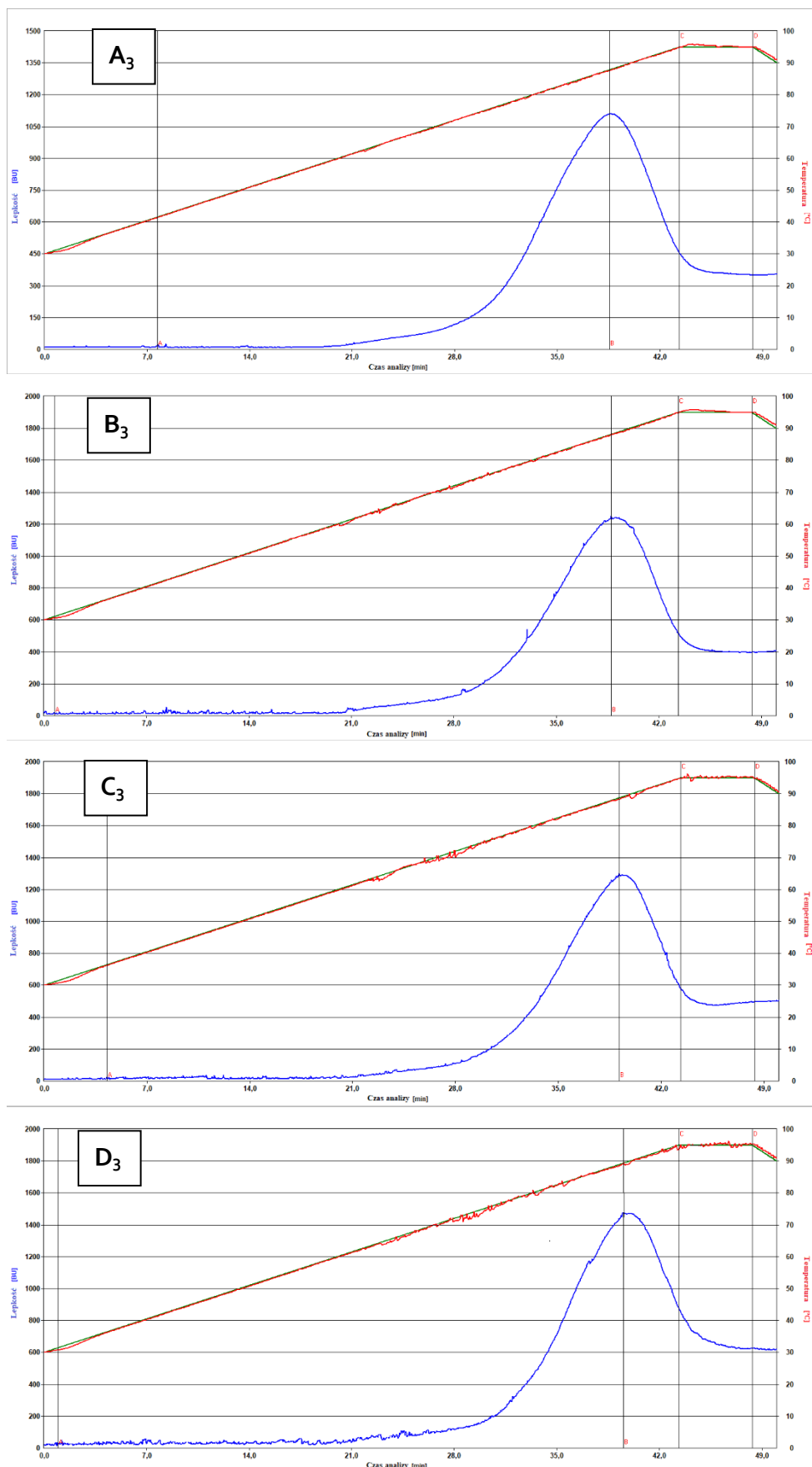
Wykres 28. Amylogram zawiesiny z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 29. Amylogramy zawiesin mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

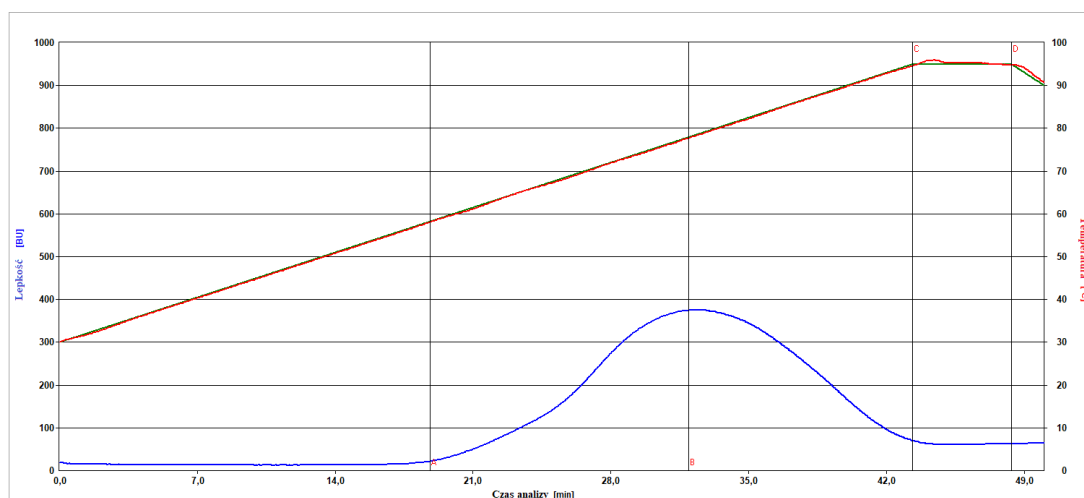


Wykres 30. Amylogramy zawiesin z mąki pszennej z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wycieków, B₂ – 5% udział wycieków, C₂ – 7,5% udział wycieków, D₂ – 10% udział wycieków

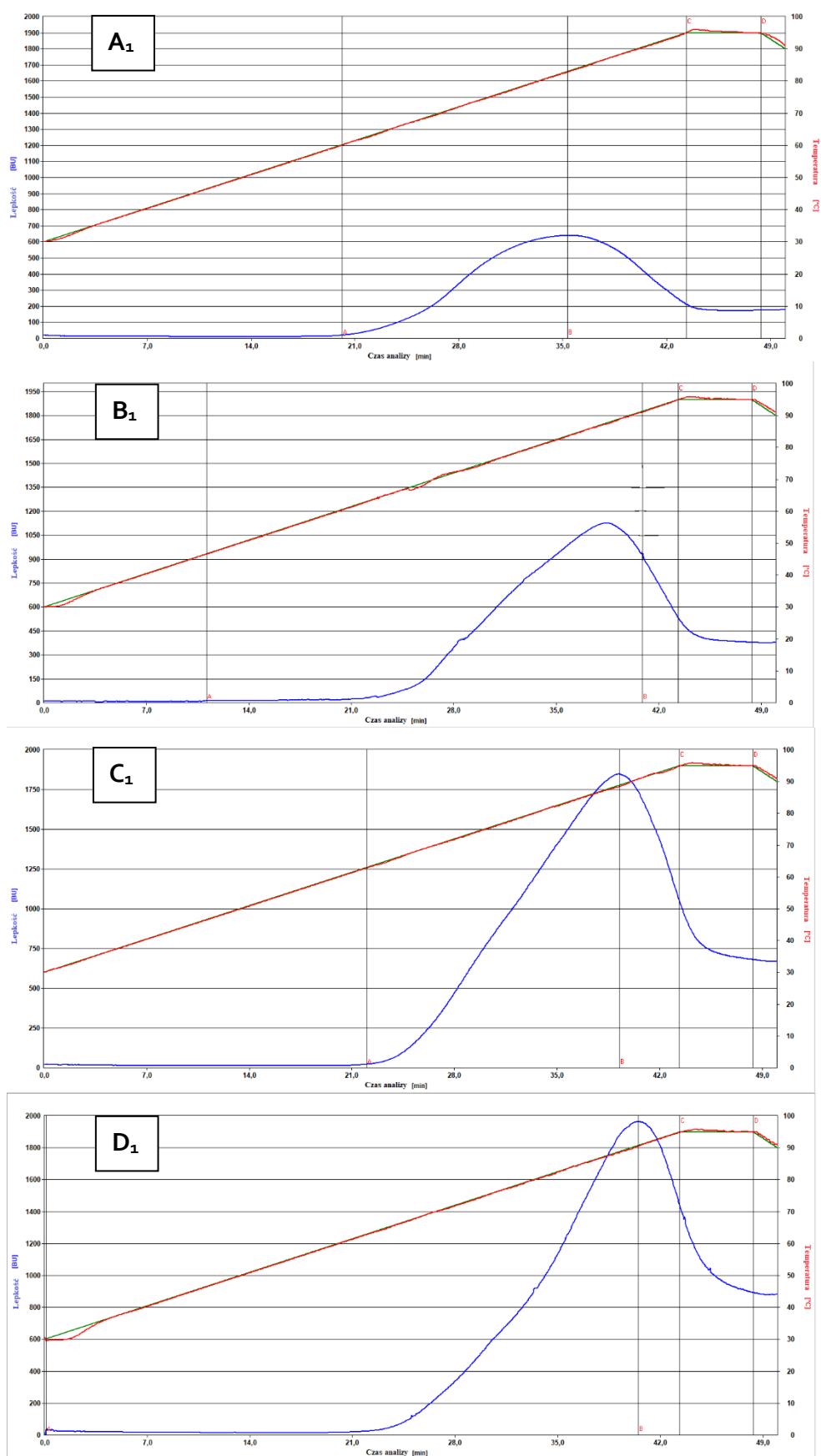


Wykres 31. Amylogramy zawiesin mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

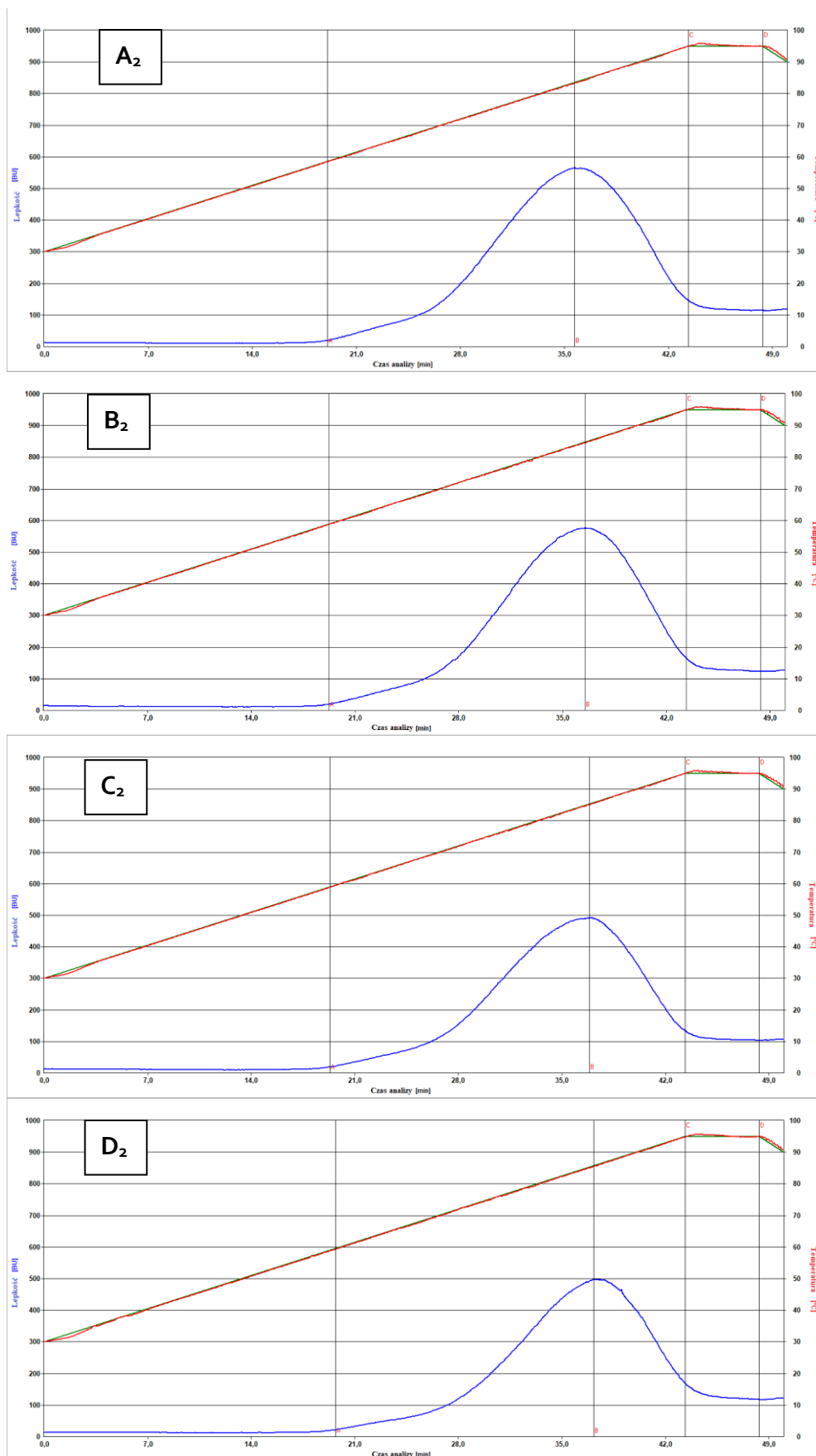
Załącznik 8. Wykresy z analizy amylograficznej zawiesin mieszanki pszenno-żytniej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



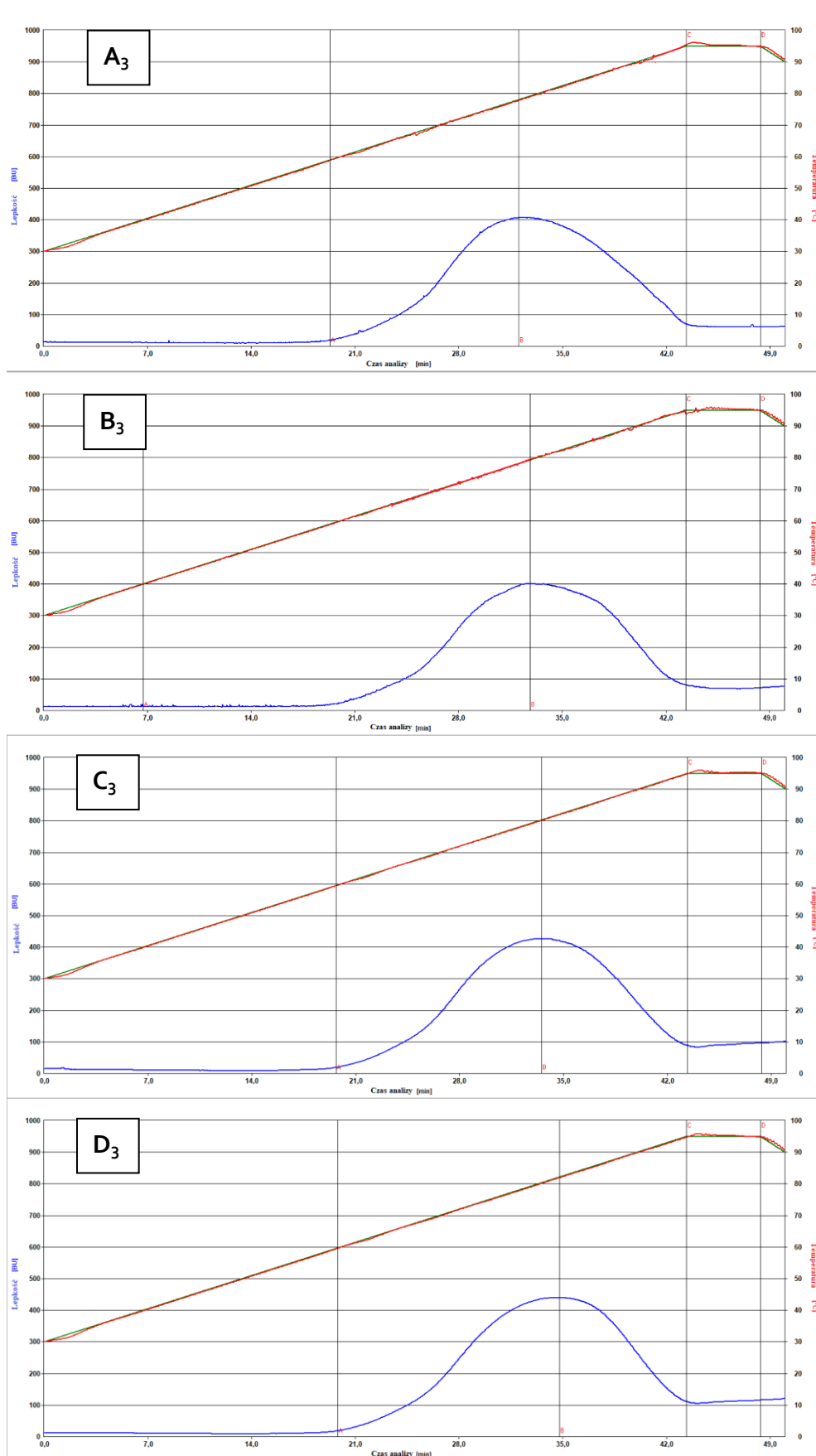
Wykres 32. Amylogram zawiesiny mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 33. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

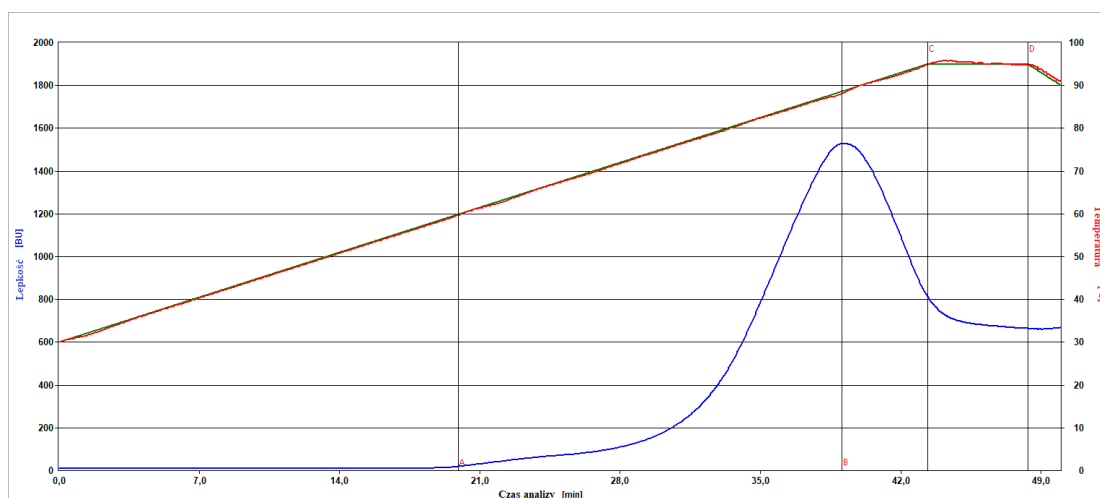


Wykres 34. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-żytniej z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wyłoków, B₂ – 5% udział wyłoków, C₂ – 7,5% udział wyłoków, D₂ – 10% udział wyłoków

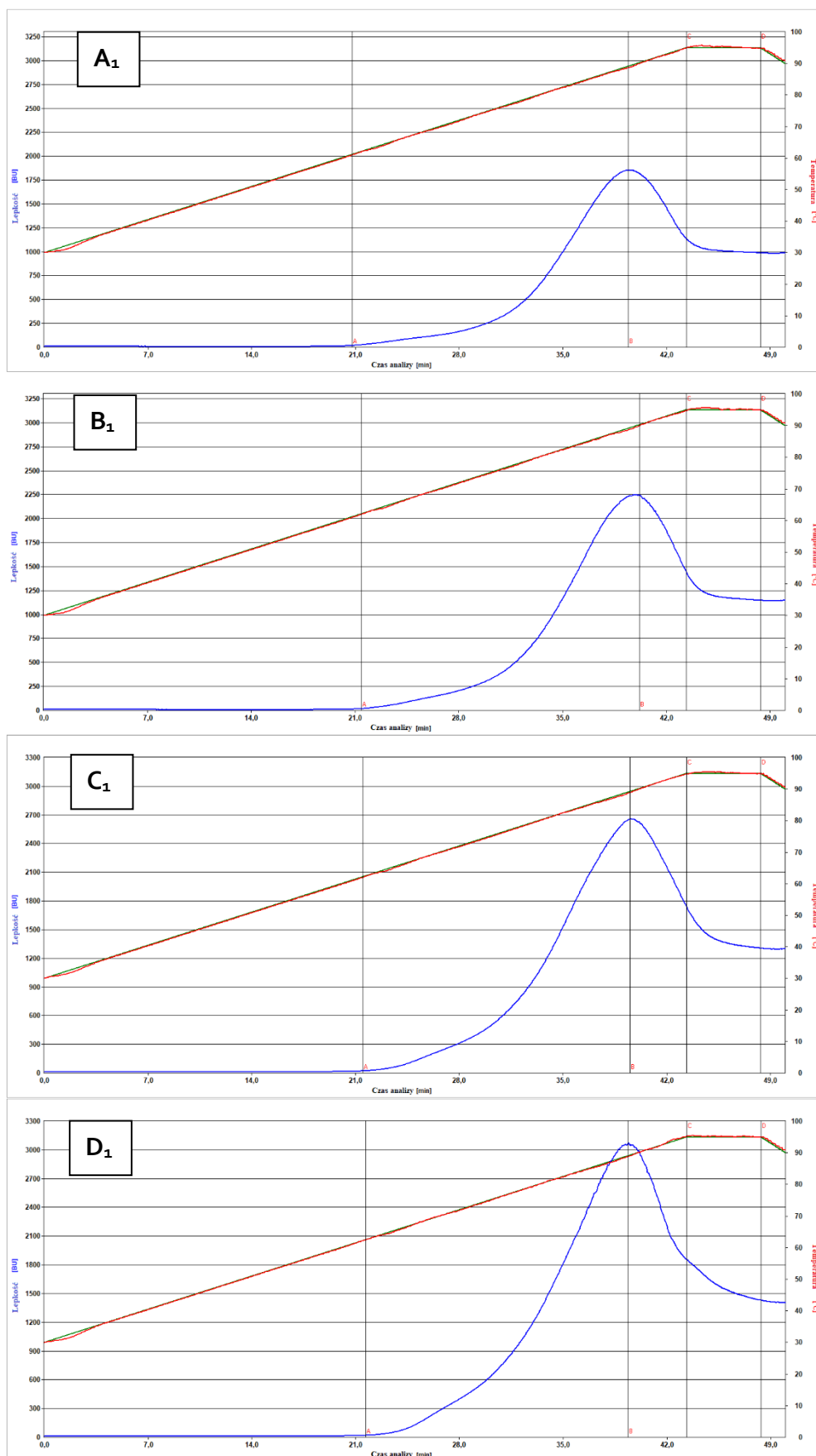


Wykres 35. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

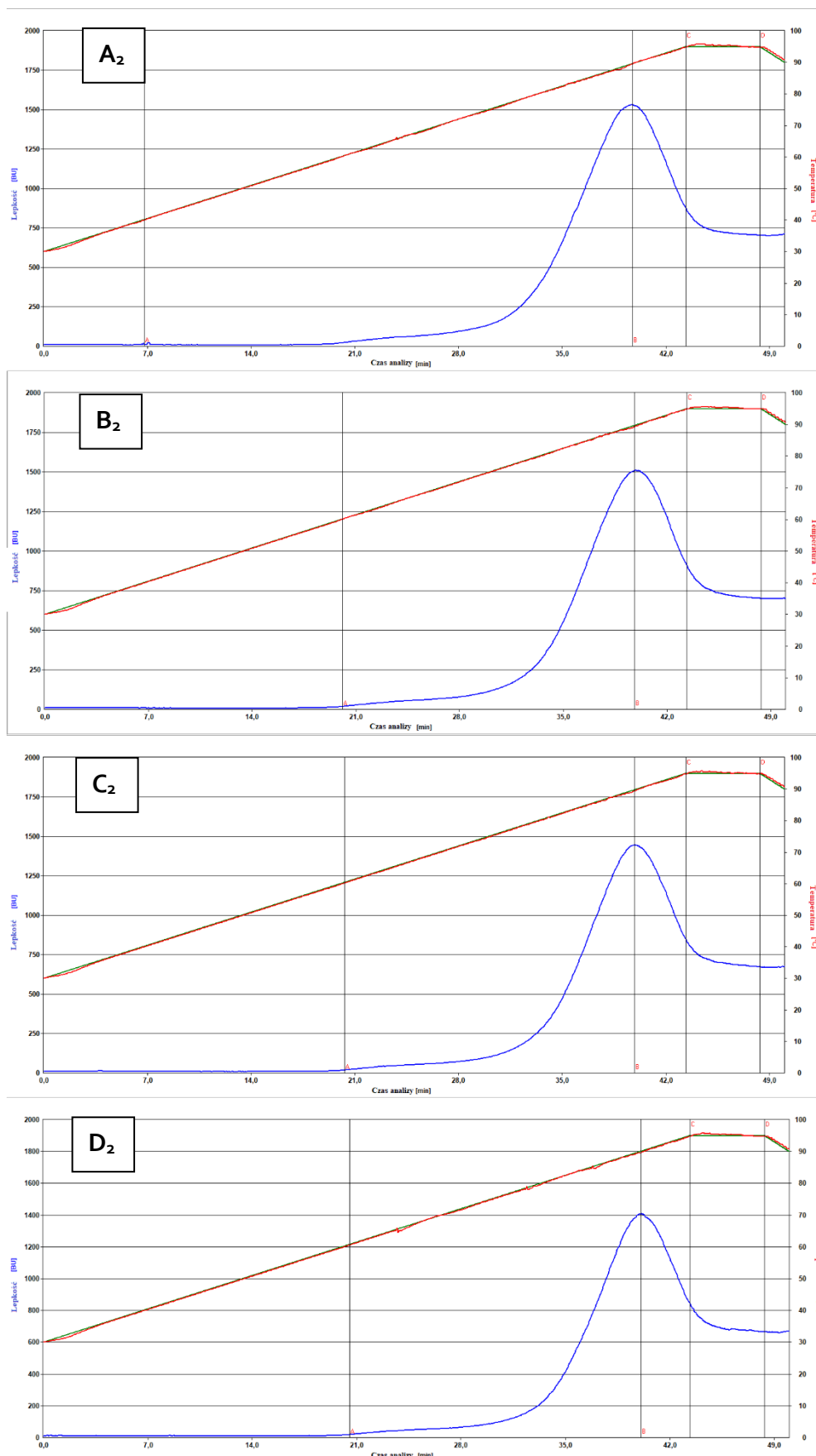
Załącznik 9. Wykresy z analizy amylograficznej zawiesin mieszanki pszenno-owsianej wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



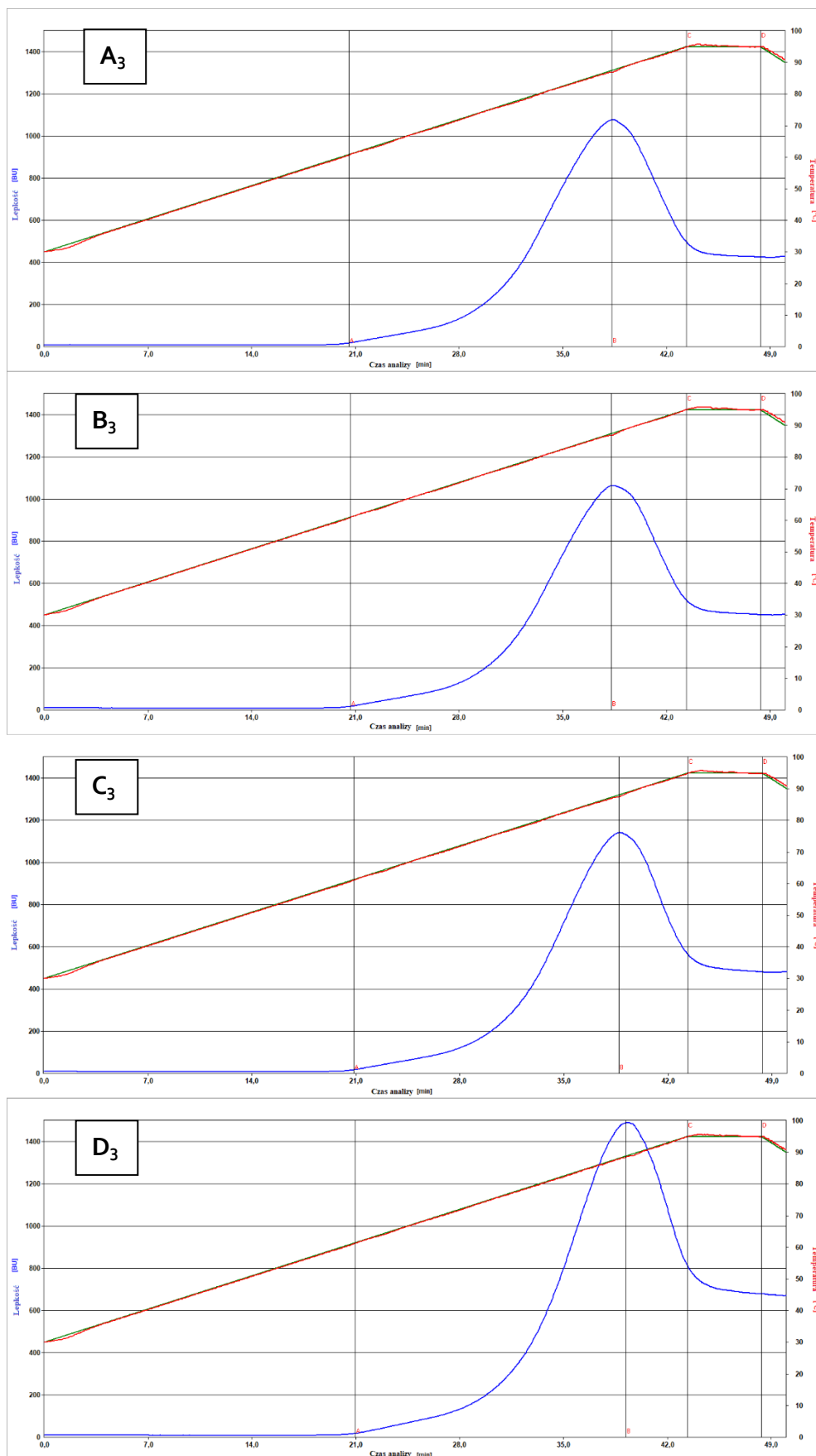
Wykres 36. Amylogram zawiesiny mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 37. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

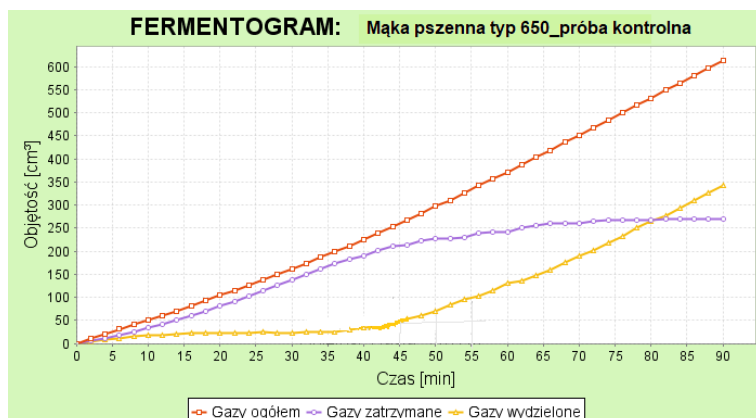


Wykres 38. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wyłoków, B₂ – 5% udział wyłoków, C₂ – 7,5% udział wyłoków, D₂ – 10% udział wyłoków

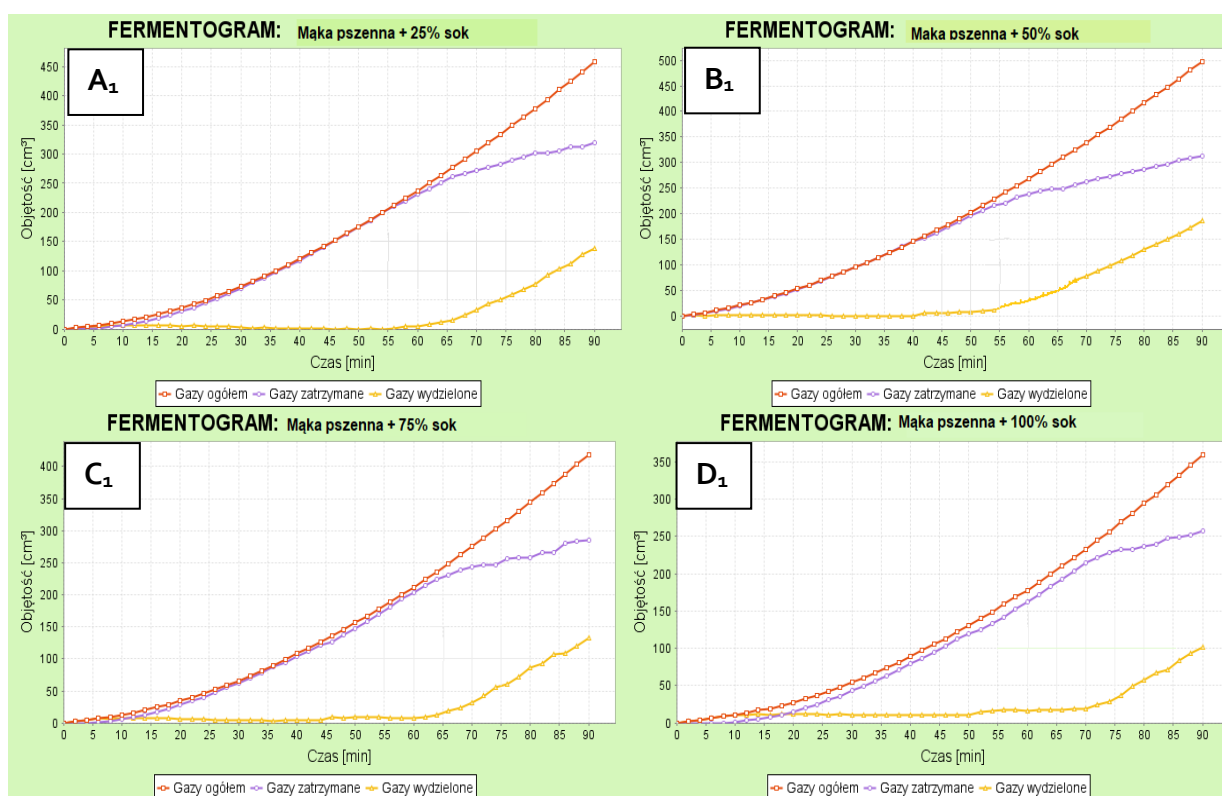


Wykres 39. Amylogramy zawiesin mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

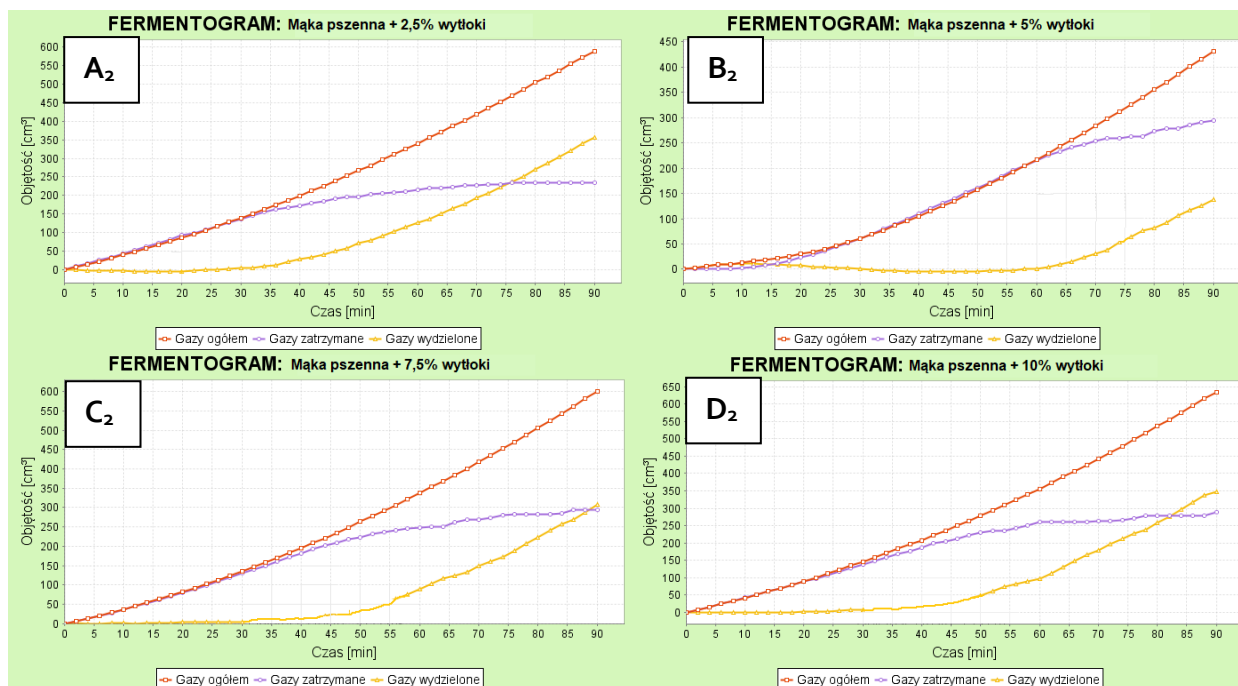
Załącznik 10. Wykresy z analizy fermentograficznej badanych ciast pszennych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



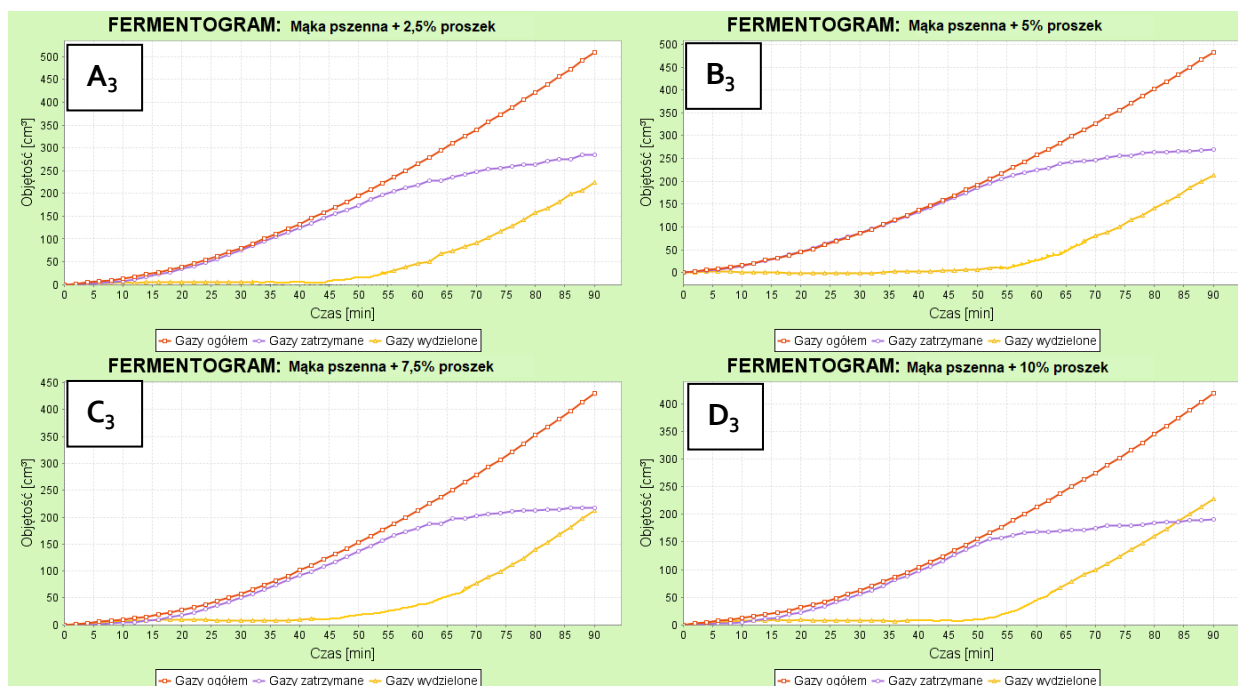
Wykres 40. Fermentogram ciasta z mąki pszennej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 41. Fermentogramy ciast z mąki pszennej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

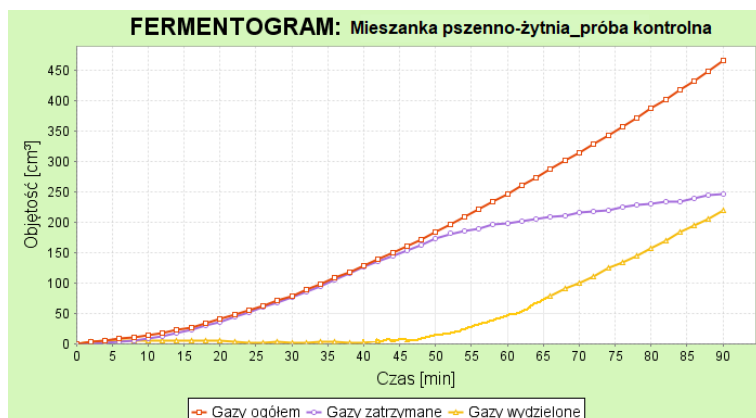


Wykres 42. Fermentogramy ciast z mąki pszennej z udziałem wylłoków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wylłoków, B₂ – 5% udział wylłoków, C₂ – 7,5% udział wylłoków, D₂ – 10% udział wylłoków

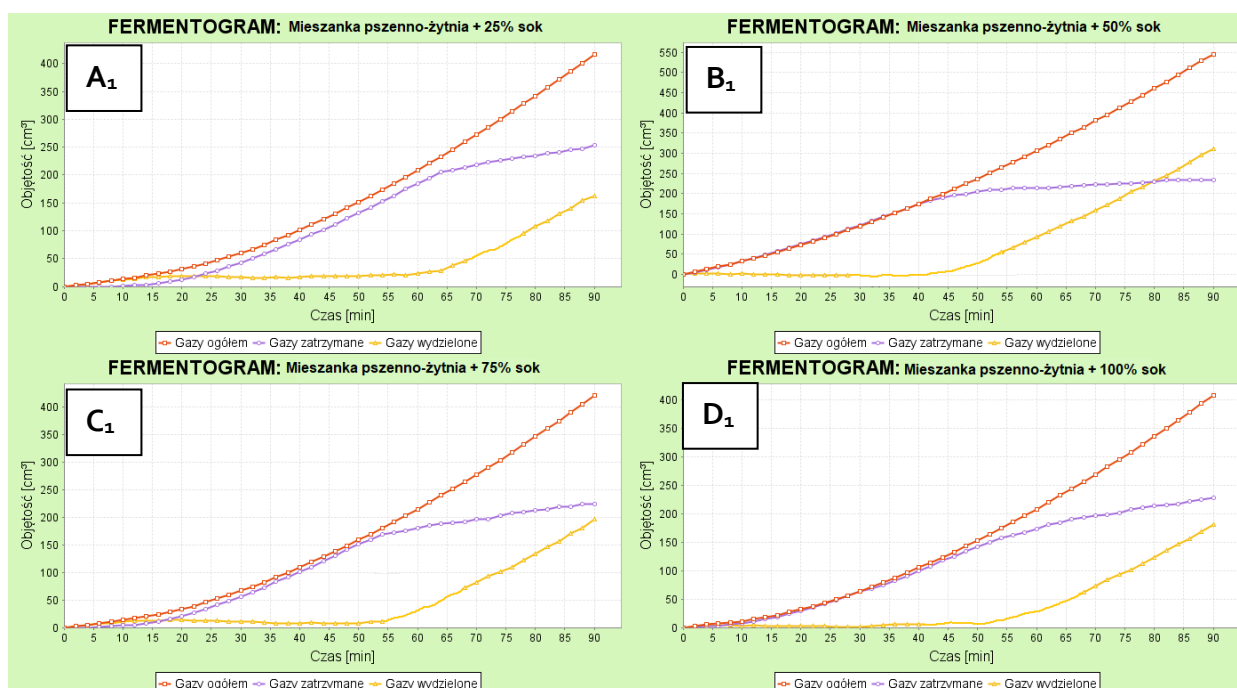


Wykres 43. Fermentogramy ciast z mąki pszennej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

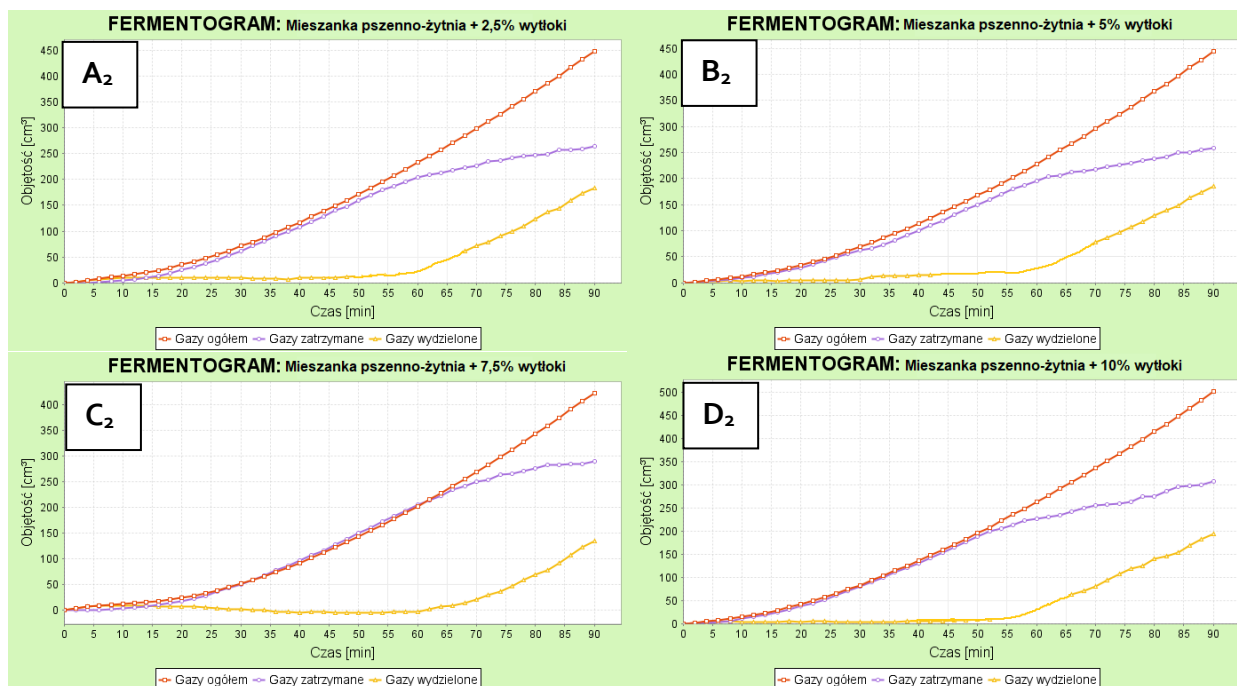
Załącznik 11. Wykresy z analizy fermentograficznej badanych ciast pszenno-żytnich wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



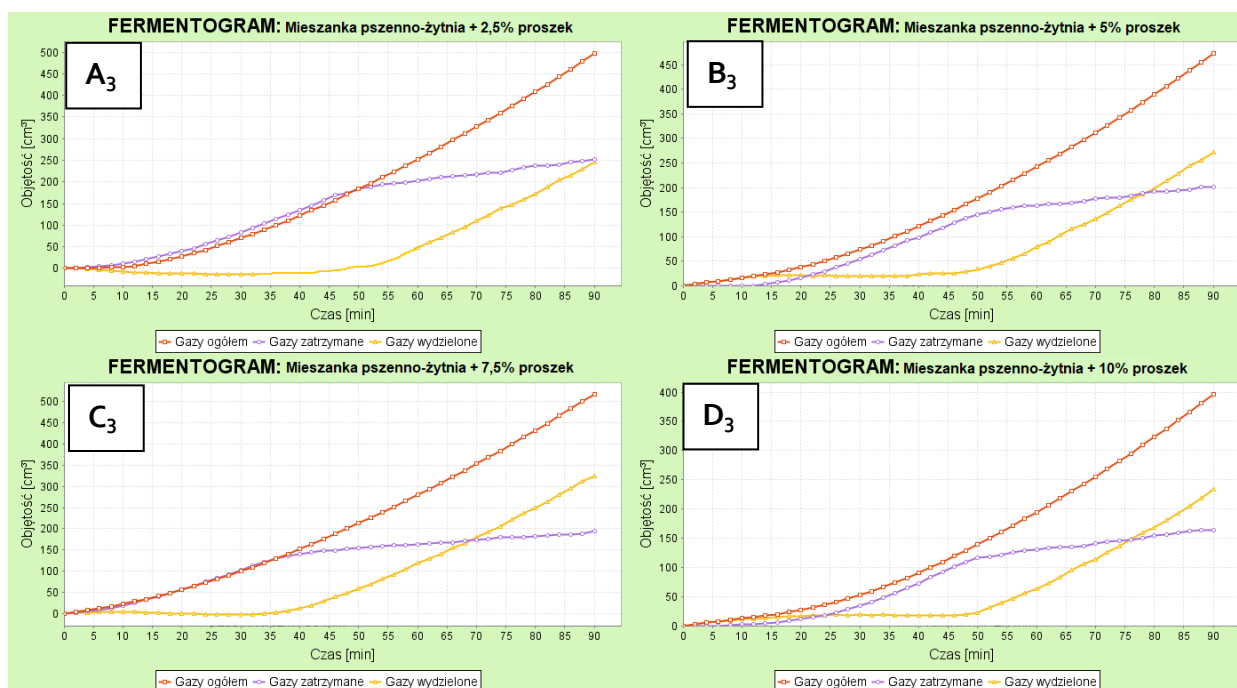
Wykres 44. Fermentogram ciasta z mieszanki pszenno-żytniej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 45. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-żytniej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

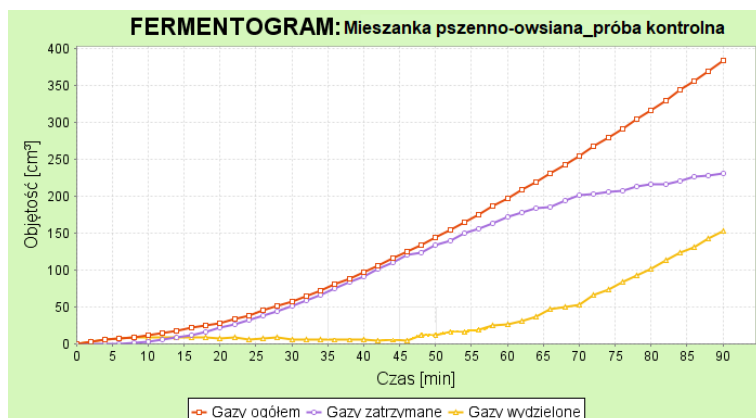


Wykres 46. Fermentogramy ciast z mieszanek pszenno-żytniej z udziałem wytlaków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wytlaków, B₂ – 5% udział wytlaków, C₂ – 7,5% udział wytlaków, D₂ – 10% udział wytlaków

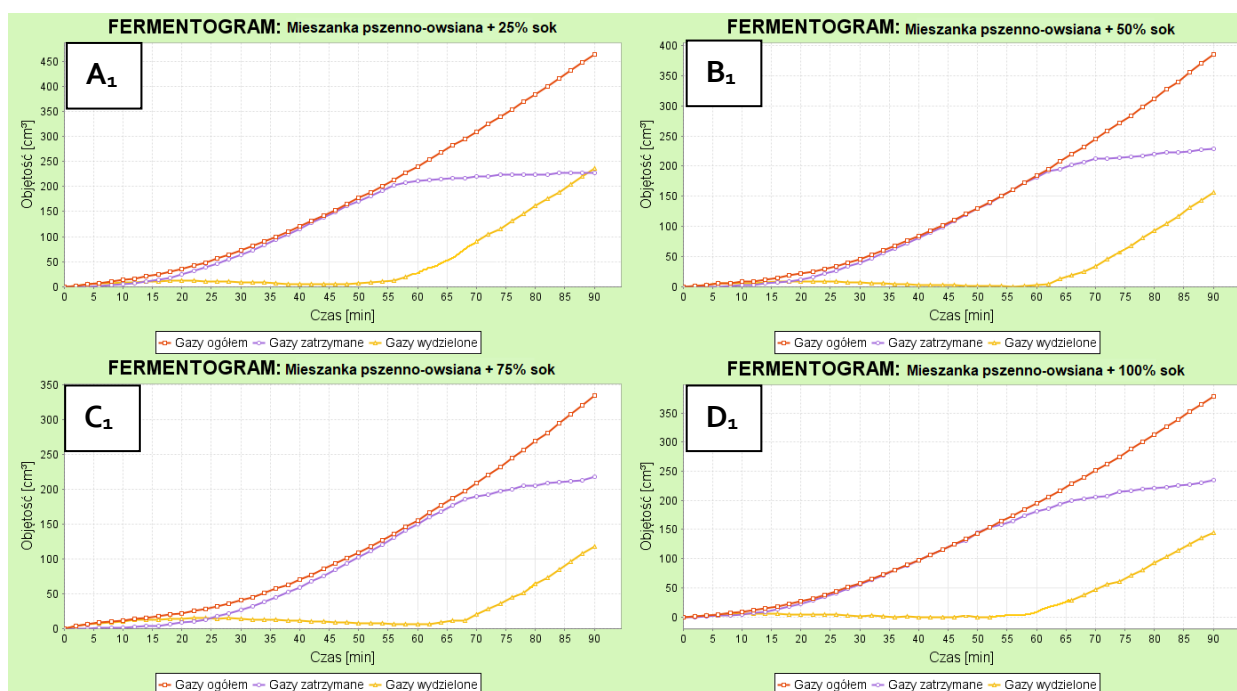


Wykres 47. Fermentogramy ciast z mieszanek pszenno-żytniej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

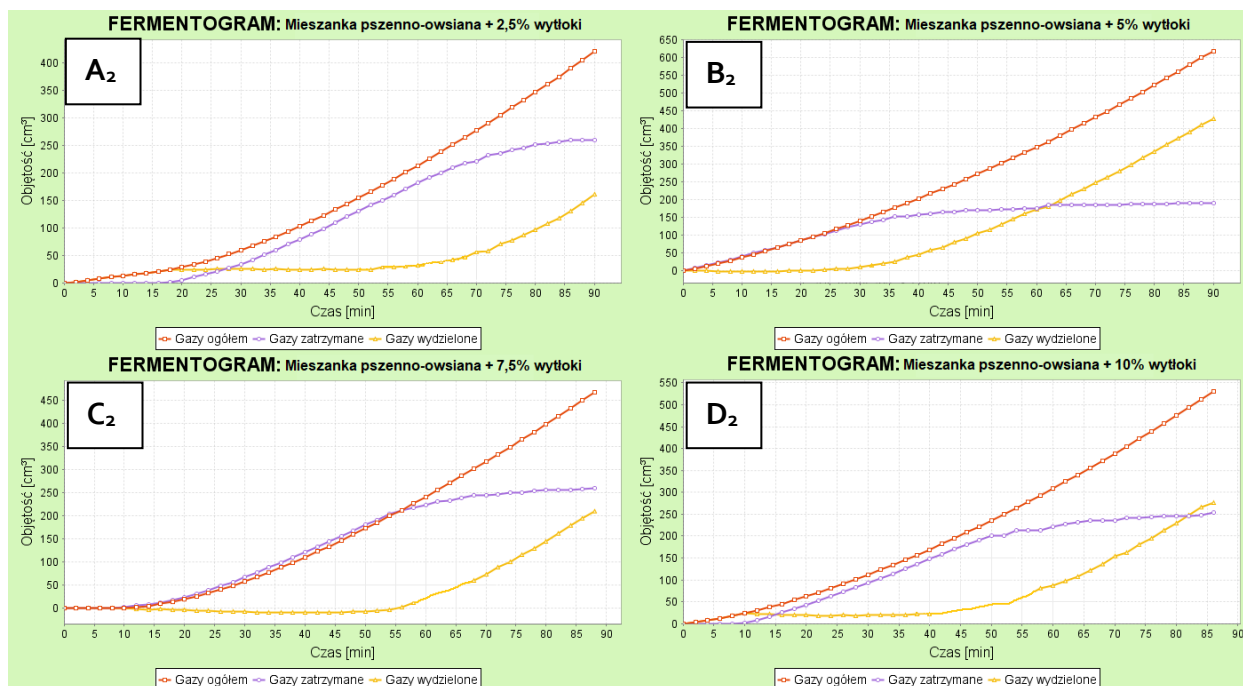
Załącznik 12. Wykresy z analizy fermentograficznej badanych ciast pszenno-owsianych wzbogaconych dodatkami z korzenia buraka ćwikłowego



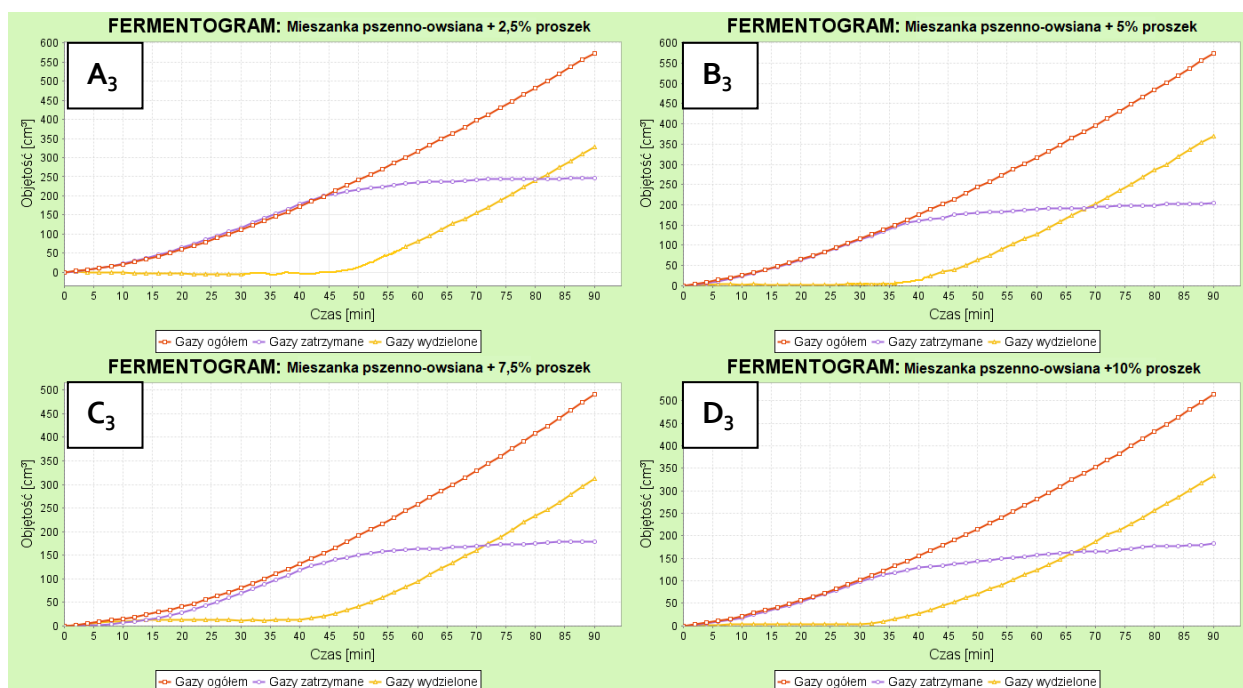
Wykres 48. Fermentogram ciasta z mieszanki pszenno-owsianej (próba kontrolna, bez dodatków)



Wykres 49. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego: A₁ – 25% udział soku, B₁ – 50% udział soku, C₁ – 75% udział soku, D₁ – 100% udział soku

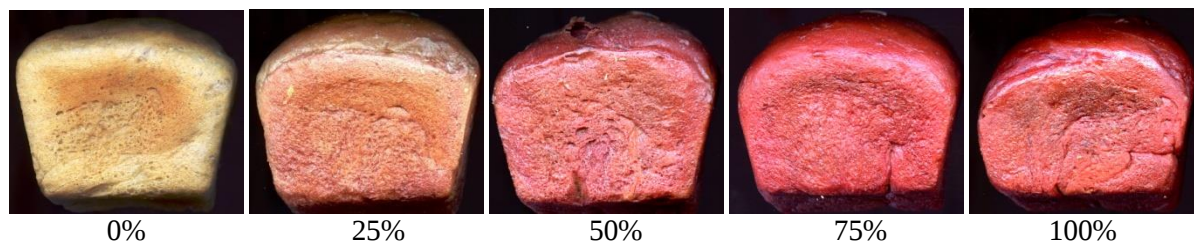


Wykres 50. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem wycioków z korzenia buraka ćwikłowego: A₂ – 2,5% udział wycioków, B₂ – 5% udział wycioków, C₂ – 7,5% udział wycioków, D₂ – 10% udział wycioków

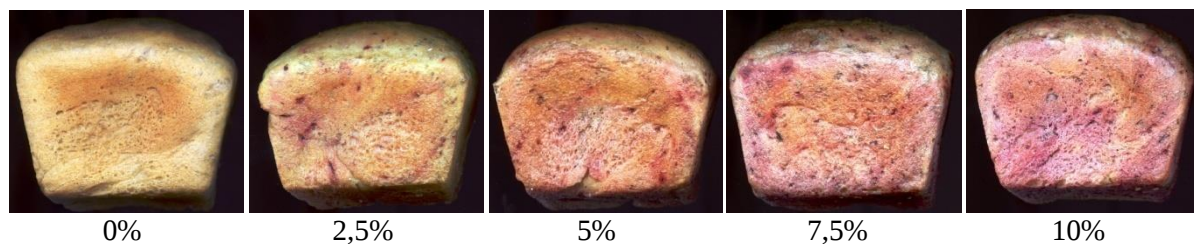


Wykres 51. Fermentogramy ciast z mieszanki pszenno-owsianej z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego: A₃ – 2,5% udział proszku, B₃ – 5% udział proszku, C₃ – 7,5% udział proszku, D₃ – 10% udział proszku

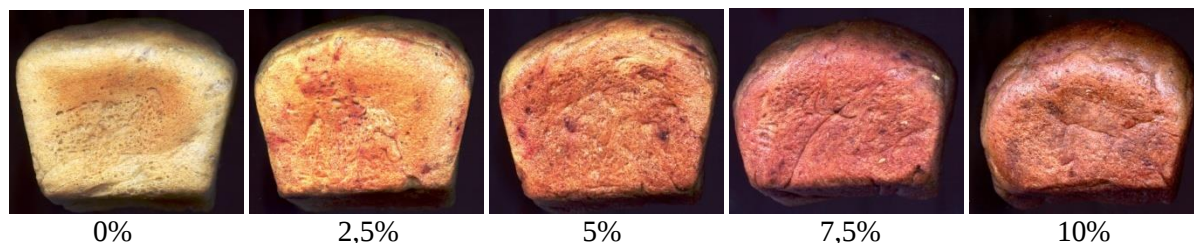
Załącznik 13. Fotografie chlebów pszennych i ich przekrojów wzbogacanych dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego



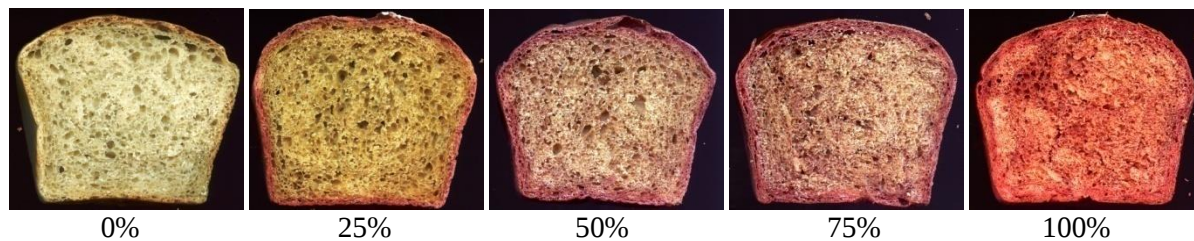
Fotografia 1. Chleby pszenne z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego



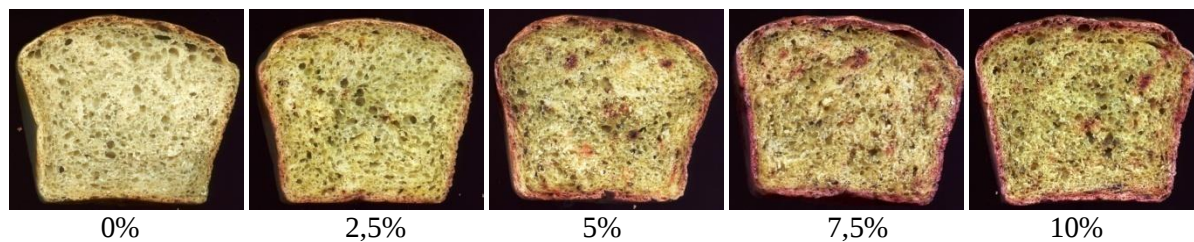
Fotografia 2. Chleby pszenne z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego



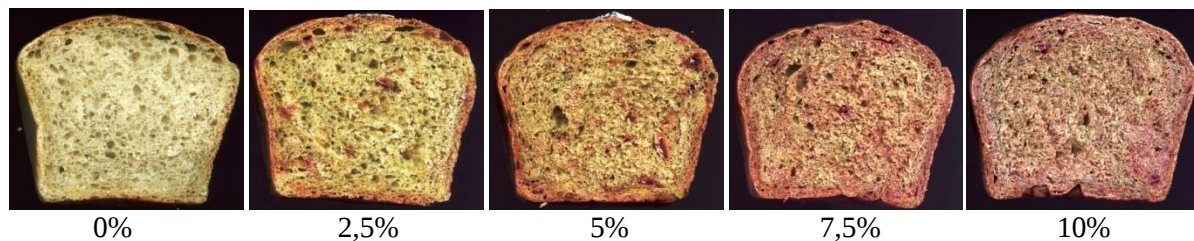
Fotografia 3. Chleby pszenne z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego



Fotografia 4. Przekroje chlebów pszennych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego

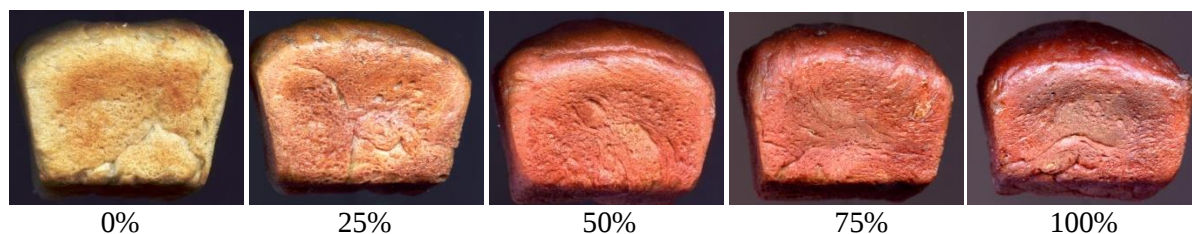


Fotografia 5. Przekroje chlebów pszennych z udziałem wycieków z korzenia buraka ćwikłowego

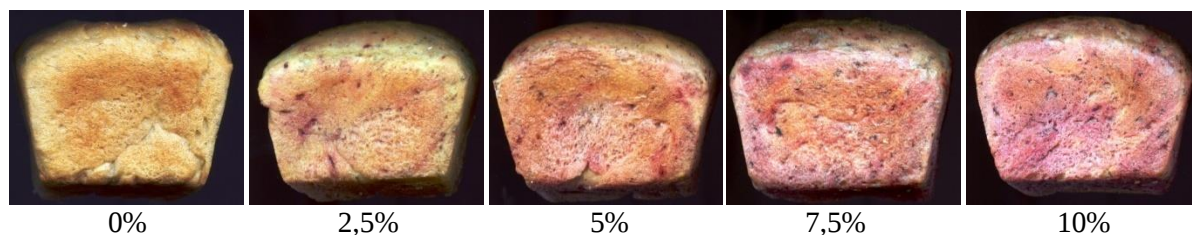


Fotografia 6. Przekroje chlebów pszennych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego

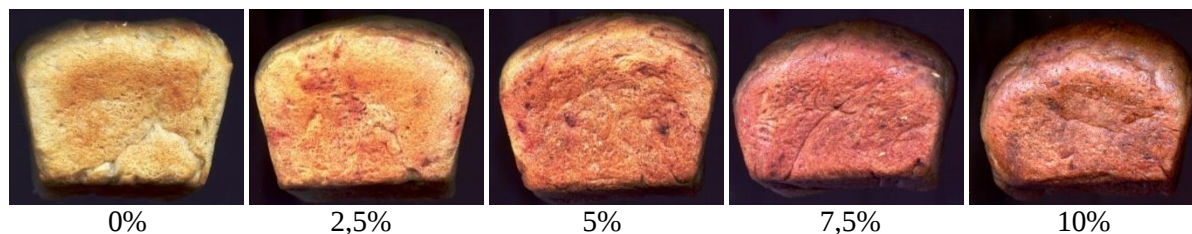
Załącznik 14. Fotografie chlebów pszenno-żytnich i ich przekrojów wzbogacanych dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego



Fotografia 7. Chleby pszenno-żytnie z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego



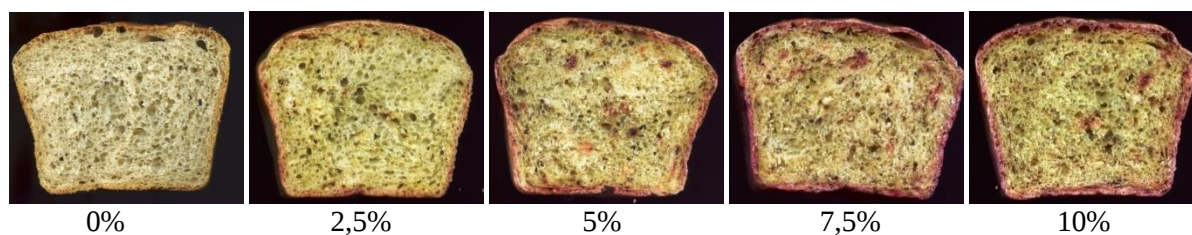
Fotografia 8. Chleby pszenno-żytnie z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego



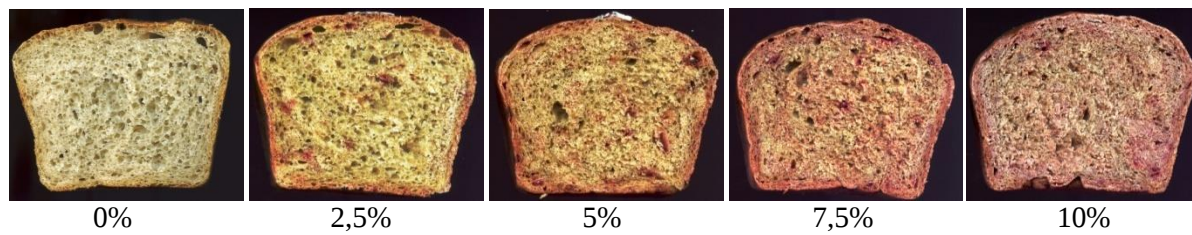
Fotografia 9. Chleby pszenno-żytnie z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego



Fotografia 10. Przekroje chlebów pszenno-żytnich z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego

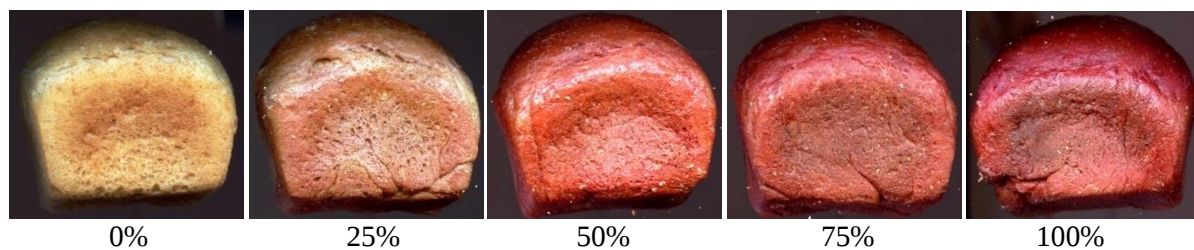


Fotografia 11. Przekroje chlebów pszenno-żytnich z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego

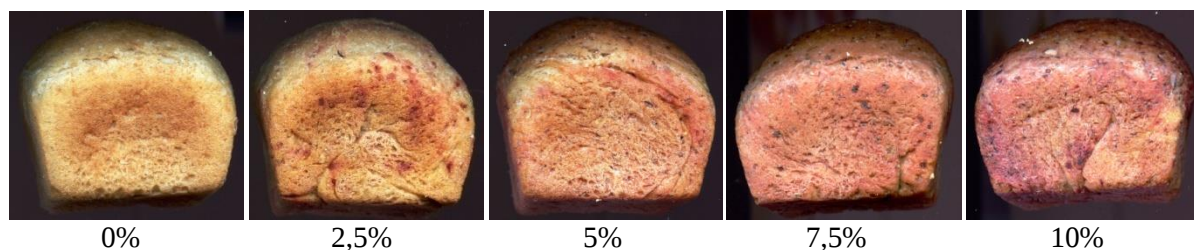


Fotografia 12. Przekroje chlebów pszenno-żytnich z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego

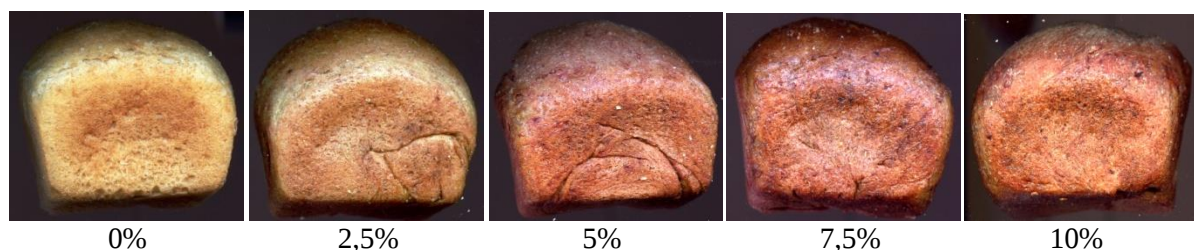
Załącznik 15. Fotografie chlebów pszenno-owsianych i ich przekrojów wzbogacanych dodatkami na bazie korzenia buraka ćwikłowego



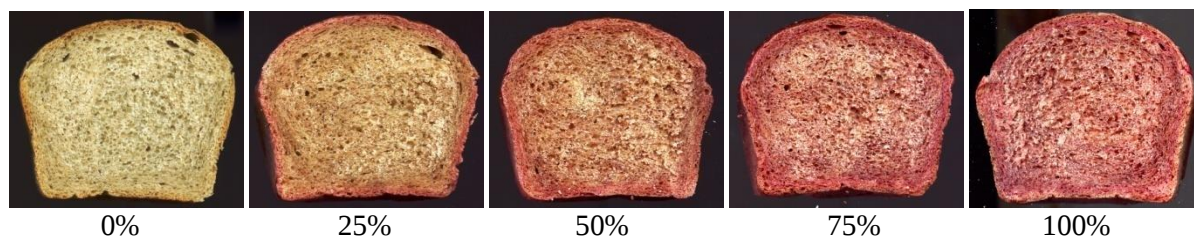
Fotografia 13. Chleby pszenno-owsiane z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego



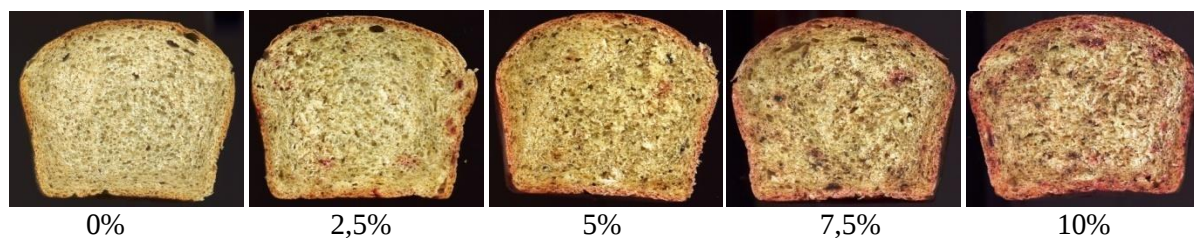
Fotografia 14. Chleby pszenno-owsiane z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego



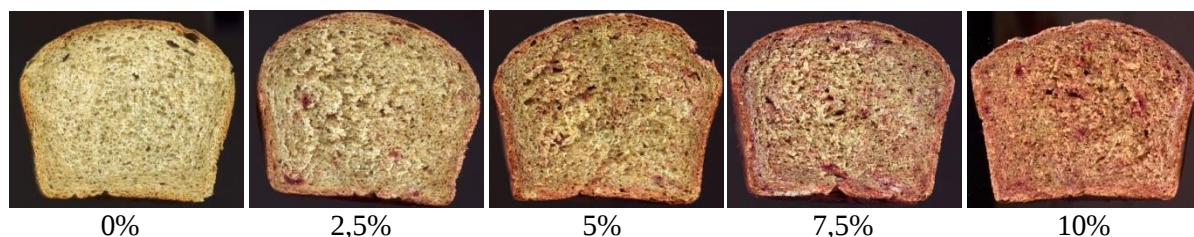
Fotografia 15. Chleby pszenno-owsiane z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego



Fotografia 16. Przekroje chlebów pszenno-owsianych z udziałem soku z korzenia buraka ćwikłowego



Fotografia 17. Przekroje chlebów pszenno-owsianych z udziałem wyłoków z korzenia buraka ćwikłowego



Fotografia 18. Przekroje chlebów pszenno-owsianych z udziałem proszku z korzenia buraka ćwikłowego

Tabela 72 . Karta 5-punktowej oceny organoleptycznej chlebów

Cecha/ Ilość punktów	5	4	3	2	1
Kształt i wygląd zewnętrzny	Kształt nadany formą, symetryczny, chleb wyrośnięty, bez zewnętrznych pęknięć, objętość duża, bardzo elastyczny	Chleb wyrośnięty o małych odchyleniach w kształcie i objętości	Objętość chleba nieco za mała, lekka deformacja kształtu, widoczne zewnętrzne niewielkie pęknięcia, wygląd mało estetyczny	Objętość wyrobu niewielka, zdeformowany kształt, widoczne duże pęknięcia, wygląd nieestetyczny	Duże zniekształcenie, występuje zakalec, wygląd nieestetyczny
Smak	Charakterystyczny, aromatyczny, łagodny, pożądany dla wyrobu	Mniej aromatyczny i łagodny, mniej wyraźny	Delikatny, bez wyraźnych charakterystycznych dla wyrobów aromatów	Obojętny, mdły, wyczuwalny obcy posmak	Obojętny, mdły, kwaśny, niewłaściwy, obcy, nietypowy
Zapach	Charakterystyczny, aromatyczny, pożądany dla wyrobu	Mniej aromatyczny i wyraźny, mniej pożądany dla wyrobu	Delikatny, słabo wyczuwalny	Obojętny, wyczuwalne obce zapachy	Niewłaściwy, wyczuwalne obce substancje, niepożądane dla wyrobu
Barwa miękiszu	Intensywna, równomierna	Mniej intensywna, ale równomierna	Delikatne zabarwienie, może być za ciemne lub za jasne	Odbiegająca od pożądanej, za ciemna lub za jasna, nierównomierna	Brak właściwego zabarwienia
Porowatość miękiszu	Równomierne, bardzo dobrze wykształcone pory	Równomierne, dobrze wykształcone pory	Pory nierównomierne	Pory nierównomierne, zbyt duże/zbyt małe lub ich brak, widoczne zbrylenia mąki	Brak porów lub duże puste miejsca, zakalec
Elastyczność miękiszu	Bardzo dobra, sprężysta	Dobra, sprężysta	Dostateczna	Mало sprężysta, odkształcająca się	Niesprężysta, trwale odkształcająca się

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Jakubczyka i Habera (1983)

Instrukcja dla respondenta:

Szanowna/Szanowny Pani/Panie,

Ma Pan/Pani przed sobą kartę i formularz 5-punktowej oceny organoleptycznej chlebów. Do oceny ma Pan/Pani 13 rodzajów chlebów, z których 12 zostało wzbogaconych w różnym stopniu procentowym o udział soku, wycieków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego. Chleb nr 1 jest próbą kontrolną - bez dodatków.

Proszę o ocenę każdego rodzaju chlebów w obrębie 6 wyróżników jakości przypisując w zależności od opisu z karty pasującego do cech jakości chleba odpowiednią ilość punktów od 5 (bardzo dobry) do 1 (niedostateczny).

Tabela 73 . Formularz do 5-punktowej oceny organoleptycznej chlebów

Cecha/Numer próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kształt i wygląd zewnętrzny													
Smak													
Zapach													
Barwa miększu													
Porowatość miększu													
Elastyczność miększu													

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Jakubczyka i Habera (1983)

Instrukcja dla respondenta:

Szanowna/Szanowny Pani/Panie,

Ma Pani/Pan przed sobą formularz oceny konsumenckiej chlebów. Do oceny ma Pani/Pan 13 chlebów, z których 12 zostało w różnym stopniu procentowym wzbogacone o udział soku, wytloków lub proszku z korzenia buraka ćwikłowego. Chleb nr 1 jest próbą kontrolną - bez dodatków. Proszę o ocenę każdego rodzaju chleba w obrębie 6 cech jakości, przyznając każdej według własnych upodobań natępującą ilość punktów:

9 pkt. - ogromnie lubię

8 pkt. - bardzo lubię

7 pkt. - średnio lubię

6 pkt. - dość lubię

5 pkt. - ani lubię ani nie lubię

4 pkt. - trochę nie lubię

3 pkt. - średnio nie lubię

2 pkt. - bardzo nie lubię

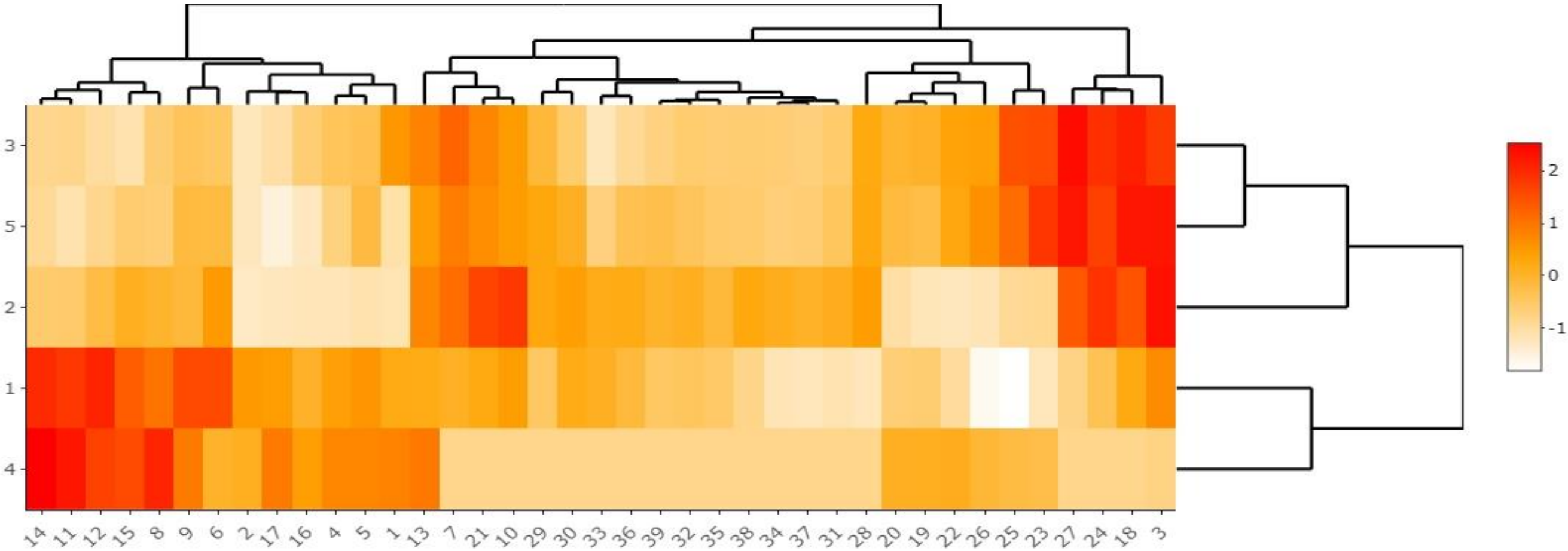
1 pkt. - ogromnie nie lubię

Tabela 74 . Formularz oceny konsumenckiej chlebów

Cecha/Numer próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kształt i wygląd zewnętrzny													
Smak													
Zapach													
Barwa miększu													
Porowatość miększu													
Elastyczność miększu													

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 11136:2017-08

Załącznik 17. Mapy ciepła zależności statystycznych (korelacji) pomiędzy próbami i parametrami dla badanych wariantów ciast.



Legenda:

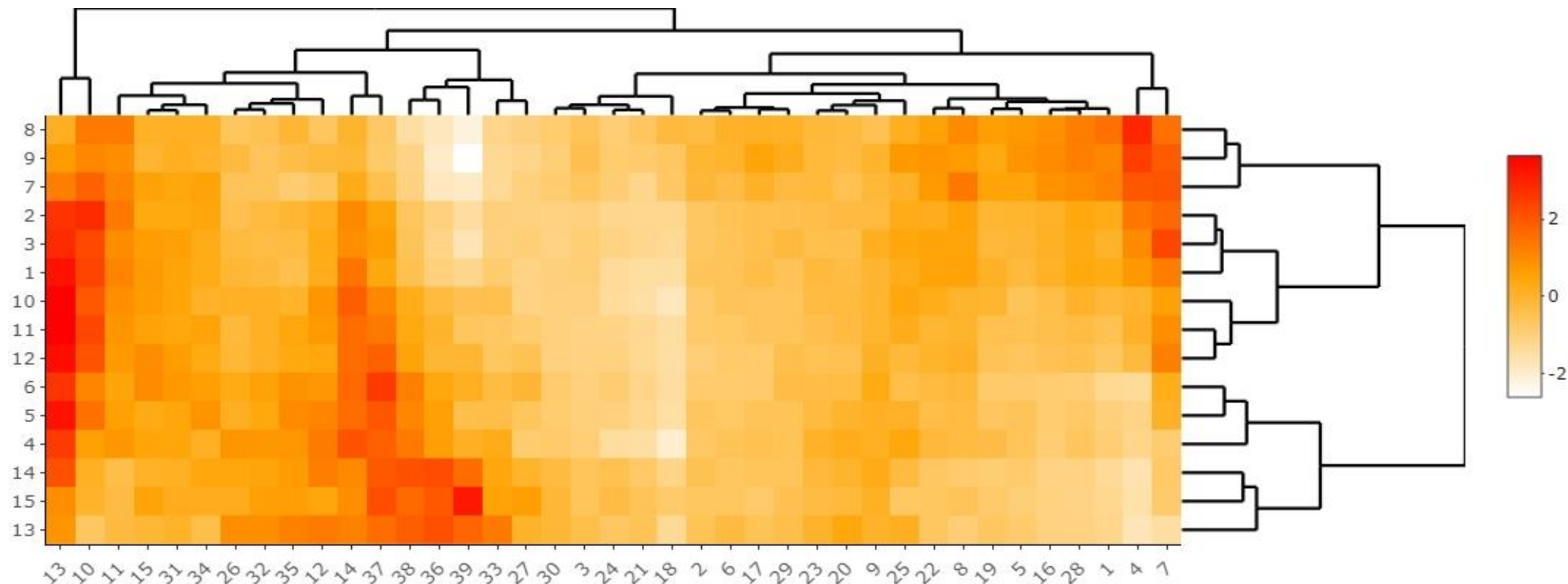
Oś pozioma:

- | | |
|---|---|
| 1- Próba kontrolna – ciasto pszenne | 22- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszennym |
| 2- Próba kontrolna – ciasto pszenno-żytnie | 23- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim |
| 3- Próba kontrolna – ciasto pszenno-owsiane | 24- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym |
| 4- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszennym | 25- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszennym |
| 5- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-żytnim | 26- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-żytnim |
| 6- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-owsianym | 27- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-owsianym |
| 7- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszennym | 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszennym |
| 8- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-żytnim | 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 9- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-owsianym | 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 10- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszennym | 31- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszennym |
| 11- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-żytnim | 32- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 12- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-owsianym | 33- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 13- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszennym | 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszennym |
| 14- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-żytnim | 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 15- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-owsianym | 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 16- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszennym | 37- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszennym |
| 17- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim | 38- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 18- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym | |
| 19- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszennym | |
| 20- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-żytnim | |
| 21- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-owsianym | |

Oś pionowa:

- | |
|-------------------------------|
| 1- Wodochłonność mąki [%] |
| 2- Czas rozwoju ciasta [min] |
| 3- Czas stałości ciasta [min] |
| 4- Rozmięczenie ciasta [FU] |
| 5- Liczba jakości |

Wykres 55. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań farinograficznych ciasta.



Legenda:

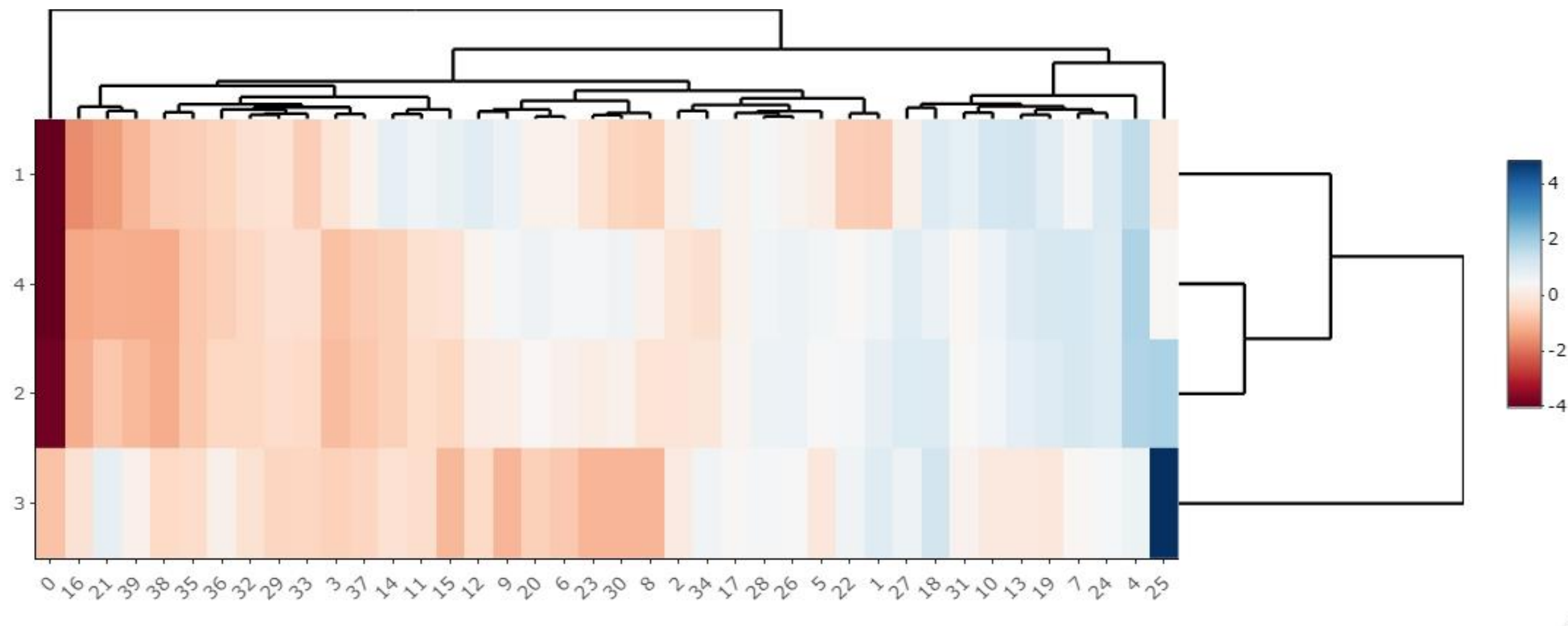
Oś pozioma:

- | | |
|---|---|
| 1- Próba kontrolna – ciasto pszenne | 22- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszennym |
| 2- Próba kontrolna – ciasto pszenno-żytnie | 23- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim |
| 3- Próba kontrolna – ciasto pszenno-owsiane | 24- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym |
| 4- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszennym | 25- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszennym |
| 5- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-żytnim | 26- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-żytnim |
| 6- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-owsianym | 27- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-owsianym |
| 7- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszennym | 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszennym |
| 8- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-żytnim | 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 9- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-owsianym | 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 10- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszennym | 31- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszennym |
| 11- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-żytnim | 32- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 12- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-owsianym | 33- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 13- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszennym | 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszennym |
| 14- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-żytnim | 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 15- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-owsianym | 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 16- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszennym | 37- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszennym |
| 17- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim | 38- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 18- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym | 39- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 19- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszennym | |
| 20- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-żytnim | |
| 21- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-owsianym | |

Oś pionowa:

- 1- Energia podnoszenia się ciasta po 45 minutach fermentacji [cm²]
- 2- Energia podnoszenia się ciasta po 90 minutach fermentacji [cm²]
- 3- Energia podnoszenia się ciasta po 135 minutach fermentacji [cm²]
- 4- Opór ciasta na rozciąganie po 45 minutach fermentacji [EU]
- 5- Opór ciasta na rozciąganie po 90 minutach fermentacji [EU]
- 6- Opór ciasta na rozciąganie po 135 minutach fermentacji [EU]
- 7- Rozciągliwość glutenu ciasta po 45 minutach fermentacji [mm]
- 8- Rozciągliwość glutenu ciasta po 90 minutach fermentacji [mm]
- 9- Rozciągliwość glutenu ciasta po 135 minutach fermentacji [mm]
- 10- Opór ciasta na zrywanie po 45 minutach fermentacji [EU]
- 11- Opór ciasta na zrywanie po 90 minutach fermentacji [EU]
- 12- Opór ciasta na zrywanie po 135 minutach fermentacji [EU]
- 13- Współczynnik oporu po 45 minutach fermentacji
- 14- Współczynnik oporu po 90 minutach fermentacji
- 15- Współczynnik oporu po 45 minutach fermentacji

Wykres 56. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań ekstensograficznych ciasta.



Legenda:

Oś pozioma:

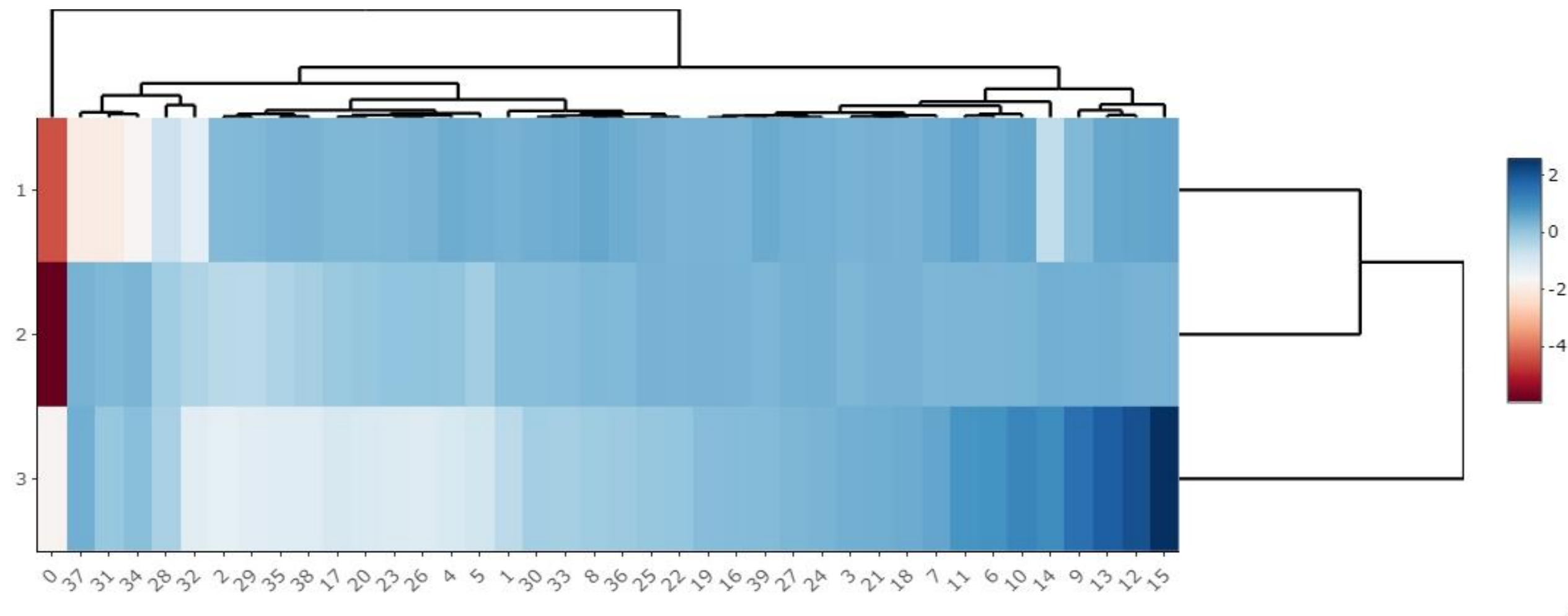
- 1- Próba kontrolna – ciasto pszenne
- 2- Próba kontrolna – ciasto pszenno-żytnie
- 3- Próba kontrolna – ciasto pszenno-owsiane
- 4- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszennym
- 5- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszennym
- 8- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszennym
- 11- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszennym
- 14- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-żytnim
- 15- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-owsianym
- 16- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszennym
- 17- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 18- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym
- 19- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszennym
- 20- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 21- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-owsianym

- 22- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszennym
- 23- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 24- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym
- 25- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszennym
- 26- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 27- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-owsianym
- 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszennym
- 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 31- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszennym
- 32- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 33- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszennym
- 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 37- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszennym
- 38- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 39- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Optymalny czas fermentacji ciasta [min]
- 2- Całkowita objętość CO₂ wydzielona w optymalnym punkcie fermentacji [cm³]
- 3- Objętość CO₂ wydzielona poza ciasto w optymalnym punkcie fermentacji [cm³]
- 4- Objętość CO₂ zatrzymana wewnątrz ciasta w optymalnym punkcie fermentacji [cm³]

Wykres 57. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań fermentograficznych ciasta.



Legenda:

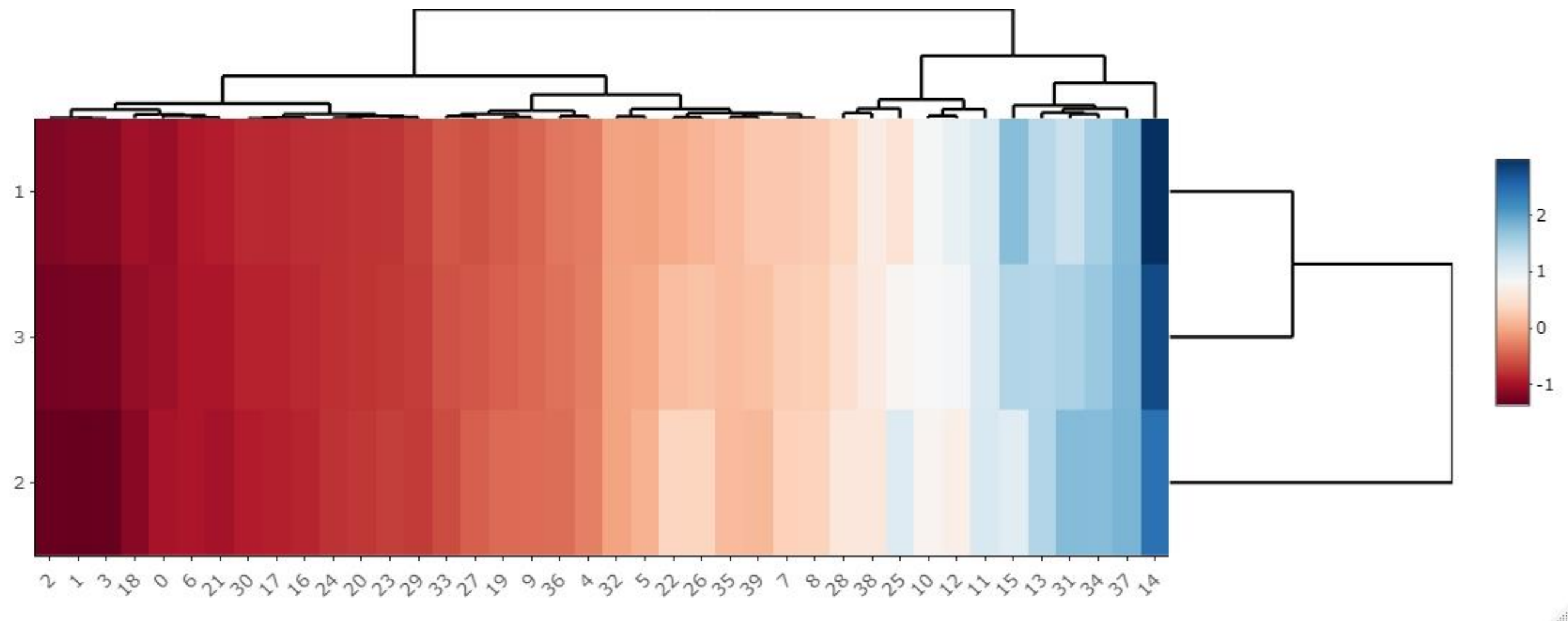
Oś pozioma:

- | | |
|---|---|
| 1- Próba kontrolna – ciasto pszenne | 22- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszennym |
| 2- Próba kontrolna – ciasto pszenno-żytnie | 23- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim |
| 3- Próba kontrolna – ciasto pszenno-owsiane | 24- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym |
| 4- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszennym | 25- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszennym |
| 5- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-żytnim | 26- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-żytnim |
| 6- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-owsianym | 27- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-owsianym |
| 7- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszennym | 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszennym |
| 8- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-żytnim | 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 9- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-owsianym | 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 10- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszennym | 31- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszennym |
| 11- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-żytnim | 32- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 12- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-owsianym | 33- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 13- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszennym | 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszennym |
| 14- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-żytnim | 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 15- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-owsianym | 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 16- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszennym | 37- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszennym |
| 17- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim | 38- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-żytnim |
| 18- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym | 39- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-owsianym |
| 19- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszennym | |
| 20- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-żytnim | |
| 21- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-owsianym | |

Oś pionowa:

- | |
|--|
| 1- Temperatura początkowa kleikowania skrobi mąki [°C] |
| 2- Temperatura końcowa kleikowania skrobi mąki [°C] |
| 3- Lepkość maksymalna [BU] |

Wykres 58. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań amylograficznych mąk.



Legenda:

Oś pozioma:

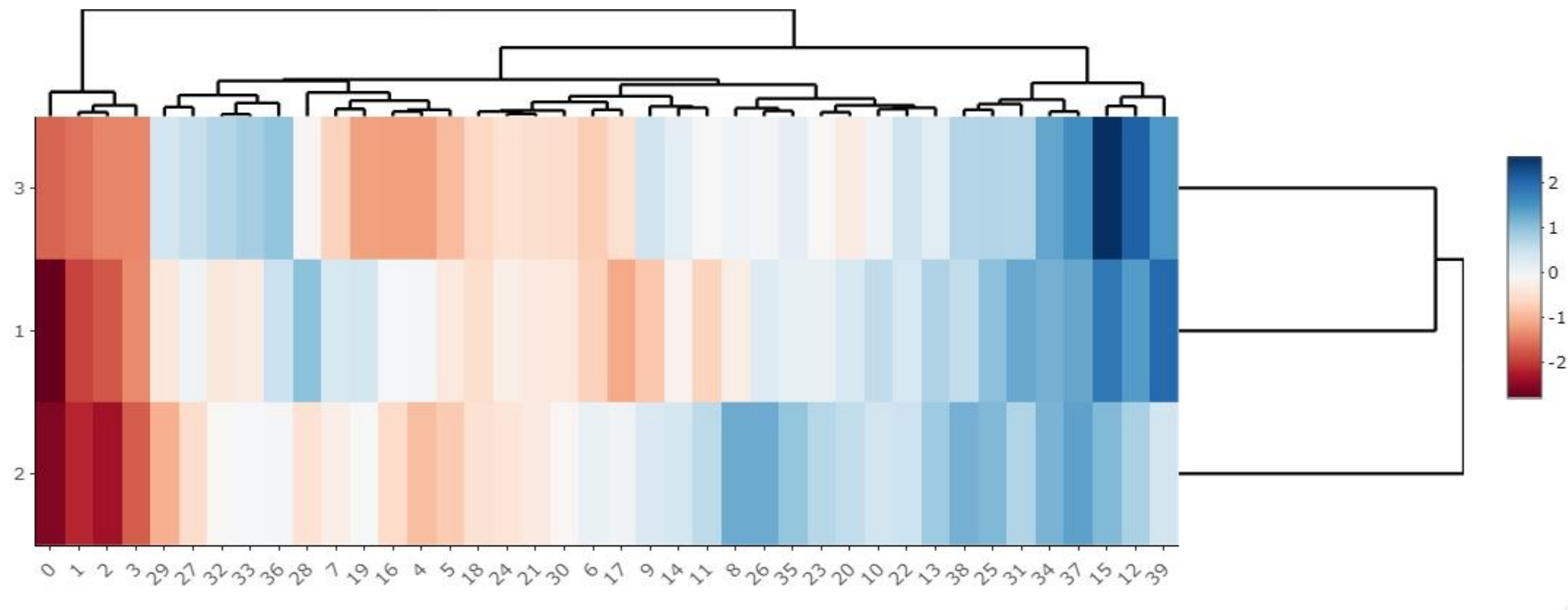
- 1- Próba kontrolna – ciasto pszenne
- 2- Próba kontrolna – ciasto pszenno-żytnie
- 3- Próba kontrolna – ciasto pszenno-owsiane
- 4- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszennym
- 5- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszennym
- 8- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszennym
- 11- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszennym
- 14- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-żytnim
- 15- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-owsianym
- 16- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszennym
- 17- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 18- Próba z udziałem 2,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym
- 19- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszennym
- 20- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 21- Próba z udziałem 5% wycieków w cieście pszenno-owsianym

- 22- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszennym
- 23- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 24- Próba z udziałem 7,5% wycieków w cieście pszenno-owsianym
- 25- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszennym
- 26- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-żytnim
- 27- Próba z udziałem 10% wycieków w cieście pszenno-owsianym
- 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszennym
- 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 31- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszennym
- 32- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 33- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszennym
- 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 37- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszennym
- 38- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 39- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość barwników fioletowych [mg betacyjaniny/kęs ciasta do wypieku (250g)]
- 2- Zawartość barwników żółtych [mg betaksantyny/kęs ciasta do wypieku (250g)]
- 3- Ogólna zawartość barwników betalainowych [mg/kęs ciasta do wypieku (250g)]

Wykres 59. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w ciastach.



Legenda:

Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – ciasto pszenne
- 2- Próba kontrolna – ciasto pszenno-żytnie
- 3- Próba kontrolna – ciasto pszenno-owsiane
- 4- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszennym
- 5- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 25% soku w cieście pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszennym
- 8- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 50% soku w cieście pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszennym
- 11- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 75% soku w cieście pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszennym
- 14- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-żytnim
- 15- Próba z udziałem 100% soku w cieście pszenno-owsianym
- 16- Próba z udziałem 2,5% wyciągów w cieście pszennym
- 17- Próba z udziałem 2,5% wyciągów w cieście pszenno-żytnim
- 18- Próba z udziałem 2,5% wyciągów w cieście pszenno-owsianym
- 19- Próba z udziałem 5% wyciągów w cieście pszennym
- 20- Próba z udziałem 5% wyciągów w cieście pszenno-żytnim
- 21- Próba z udziałem 5% wyciągów w cieście pszenno-owsianym

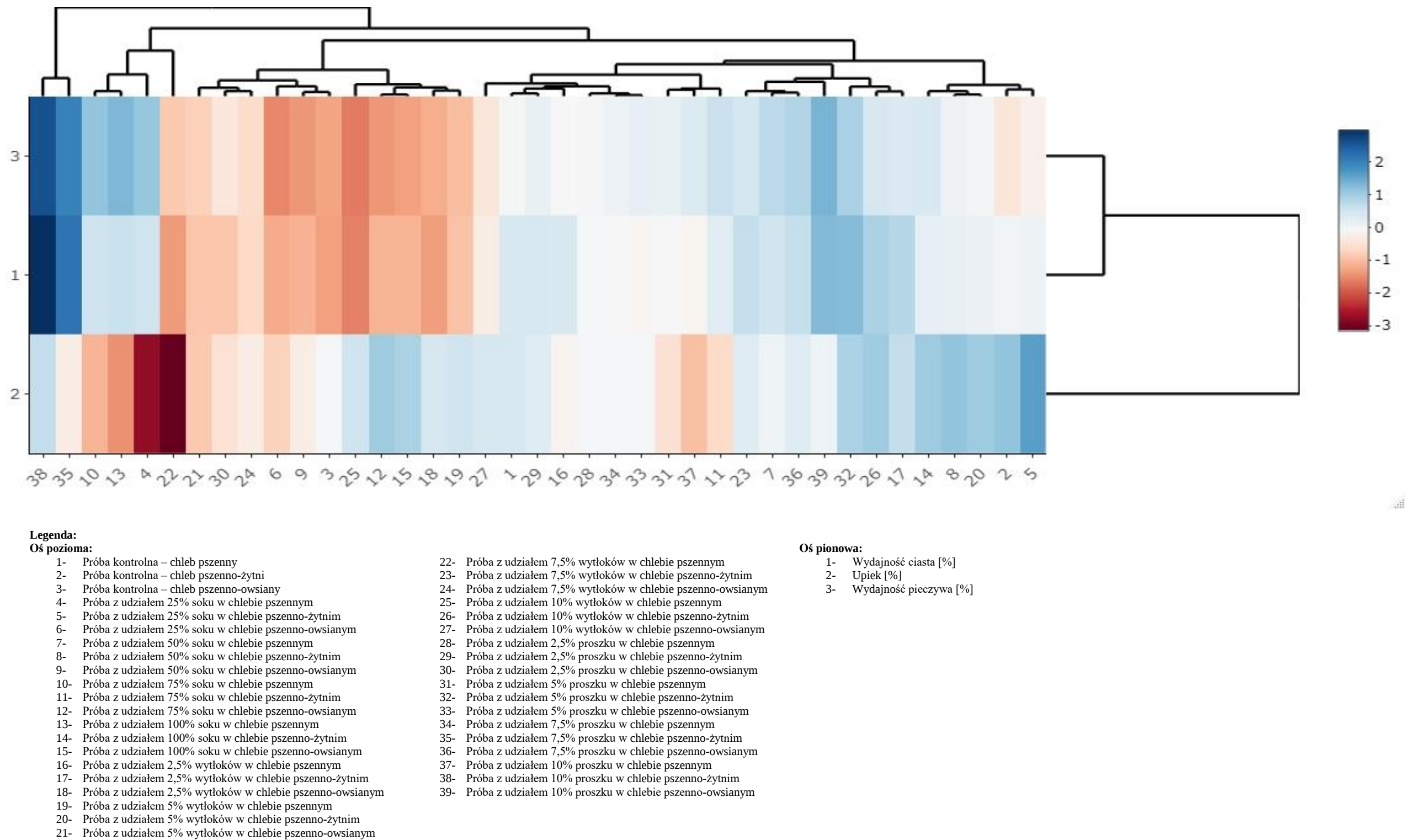
- 22- Próba z udziałem 7,5% wyciągów w cieście pszennym
- 23- Próba z udziałem 7,5% wyciągów w cieście pszenno-żytnim
- 24- Próba z udziałem 7,5% wyciągów w cieście pszenno-owsianym
- 25- Próba z udziałem 10% wyciągów w cieście pszennym
- 26- Próba z udziałem 10% wyciągów w cieście pszenno-żytnim
- 27- Próba z udziałem 10% wyciągów w cieście pszenno-owsianym
- 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszennym
- 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 31- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszennym
- 32- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 33- Próba z udziałem 5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszennym
- 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w cieście pszenno-owsianym
- 37- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszennym
- 38- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-żytnim
- 39- Próba z udziałem 10% proszku w cieście pszenno-owsianym

Oś pionowa:

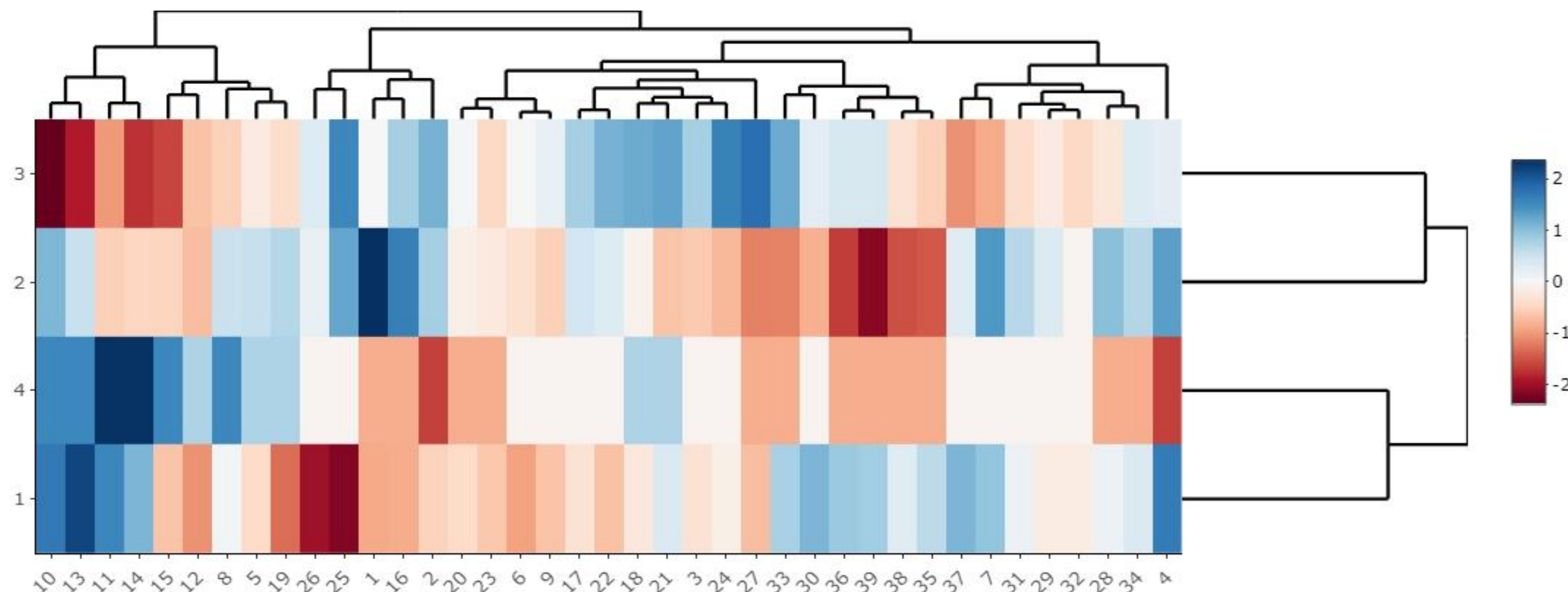
- 1- Zawartość polifenoli ogółem [mg GAE/kęs ciasta do wypieku (250g)]
- 2- Aktywność przeciwutleniająca zmierzona metodą ABTS [μmol Trolox/kęs ciasta do wypieku (250g)]
- 3- Aktywność przeciwutleniająca zmierzona metodą DPPH [μmol Trolox /kęs ciasta do wypieku (250g)]

Wykres 60. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej ciast.

Załącznik 18. Mapy ciepła zależności statystycznych (korelacji) pomiędzy próbami i parametrami dla badanych wariantów chlebów.



Wykres 61. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań parametrów procesu wypiekowego chlebów.



Legenda:

Oś pozioma:

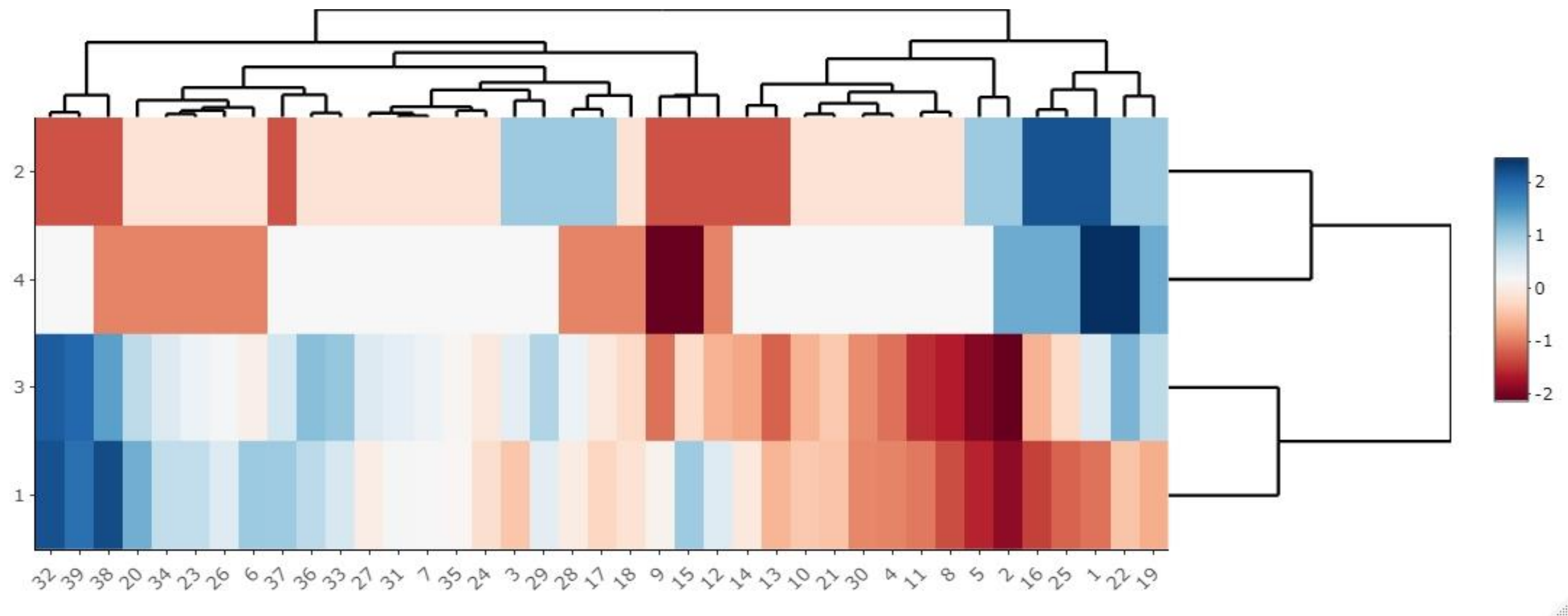
- 1- Próba kontrolna – chleb pszenny
- 2- Próba kontrolna – chleb pszenno-żytni
- 3- Próba kontrolna – chleb pszenno-owsiany
- 4- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszennym
- 5- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszennym
- 8- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszennym
- 11- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszennym
- 14- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 15- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 16- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszennym
- 17- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 18- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 19- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszennym
- 20- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 21- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym

- 22- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszennym
- 23- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 24- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 25- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszennym
- 26- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 27- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszennym
- 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 31- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszennym
- 32- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 33- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszennym
- 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 37- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszennym
- 38- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 39- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Masa bochenka [g]
- 2- Objętość bochenka [cm³/100g pieczywa]
- 3- Wilgotność miększu pieczywa [%]
- 4- Kwasowość pieczywa [stopnie]

Wykres 62. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań parametrów fizykochemicznych chlebów.



Legenda:

Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenny
- 2- Próba kontrolna – chleb pszenno-żytni
- 3- Próba kontrolna – chleb pszenno-owsiany
- 4- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszennym
- 5- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszennym
- 8- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszennym
- 11- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszennym
- 14- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 15- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 16- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszennym
- 17- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 18- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 19- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszennym
- 20- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 21- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym

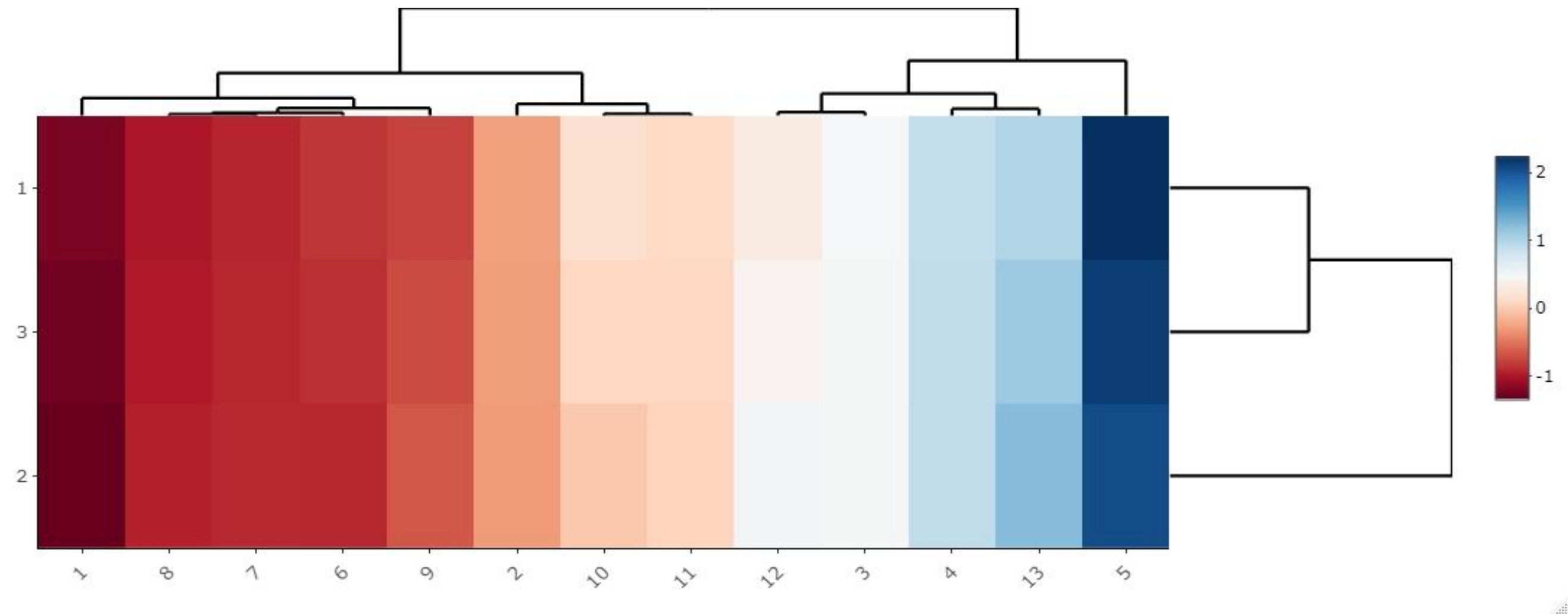
- 22- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszennym
- 23- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 24- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 25- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszennym
- 26- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 27- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 28- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszennym
- 29- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 30- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 31- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszennym
- 32- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 33- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 34- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszennym
- 35- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 36- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 37- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszennym
- 38- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 39- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Twardość miękiszu pieczywa [N]
- 2- Sprężystość miękiszu pieczywa
- 3- Żujność miękiszu pieczywa [N]
- 4- Spoistość (kohezynność) miękiszu pieczywa

Wykres 63. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami badań parametrów tekstury miękiszu chlebów.

Załącznik 19. Mapy ciepła zależności statystycznych (korelacji) pomiędzy próbami i parametrami dla wartości prozdrowotnej badanych wariantów chlebów.



Legenda:

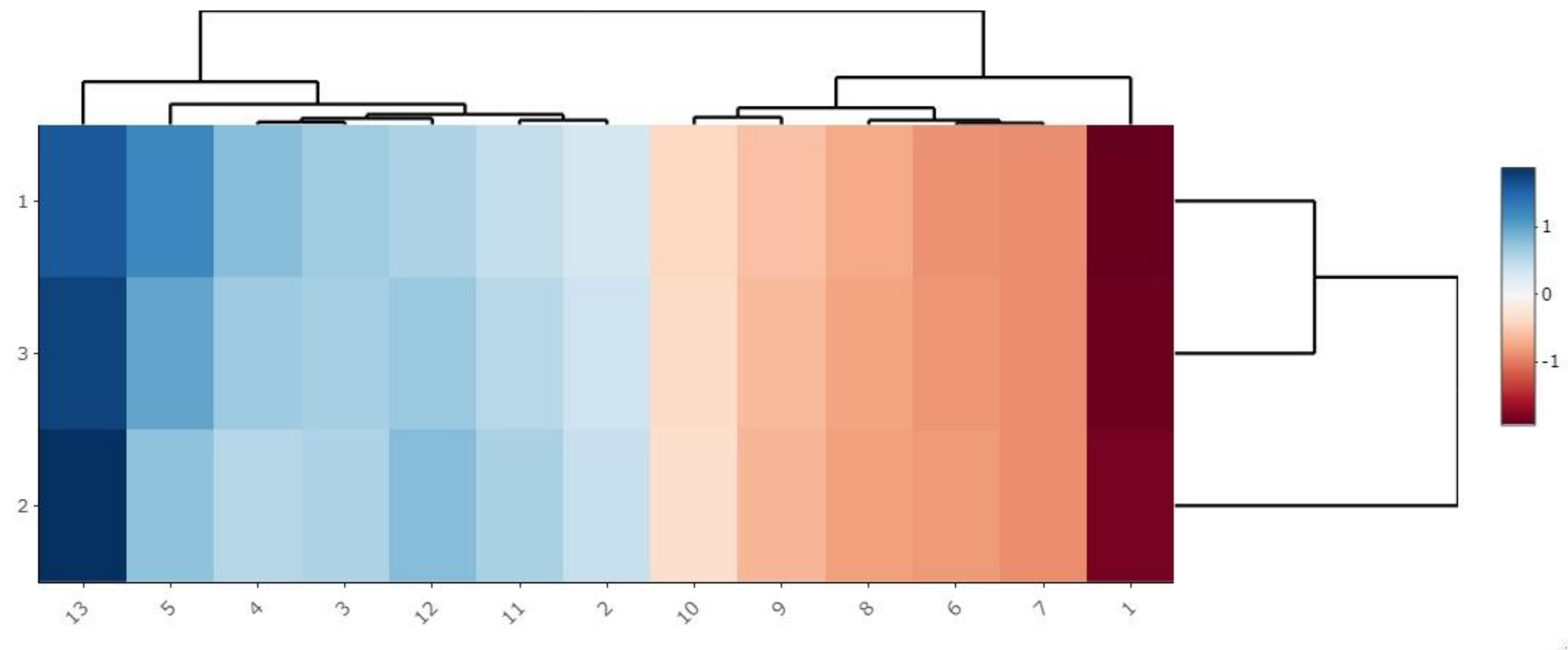
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenny
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszennym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszennym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszennym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszennym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszennym
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszennym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszennym
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszennym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszennym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszennym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszennym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszennym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość barwników fioletowych w miększu pieczywa [mg betacyjaniny/100g świeżej masy miększu]
- 2- Zawartość barwników żółtych w miększu pieczywa [mg betaksantyny/100g świeżej masy miększu]
- 3- Ogólna zawartość barwników betalainowych w miększu pieczywa [mg/100g świeżej masy miększu]

Wykres 64. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w miększu chlebów pszennych.



Legenda:

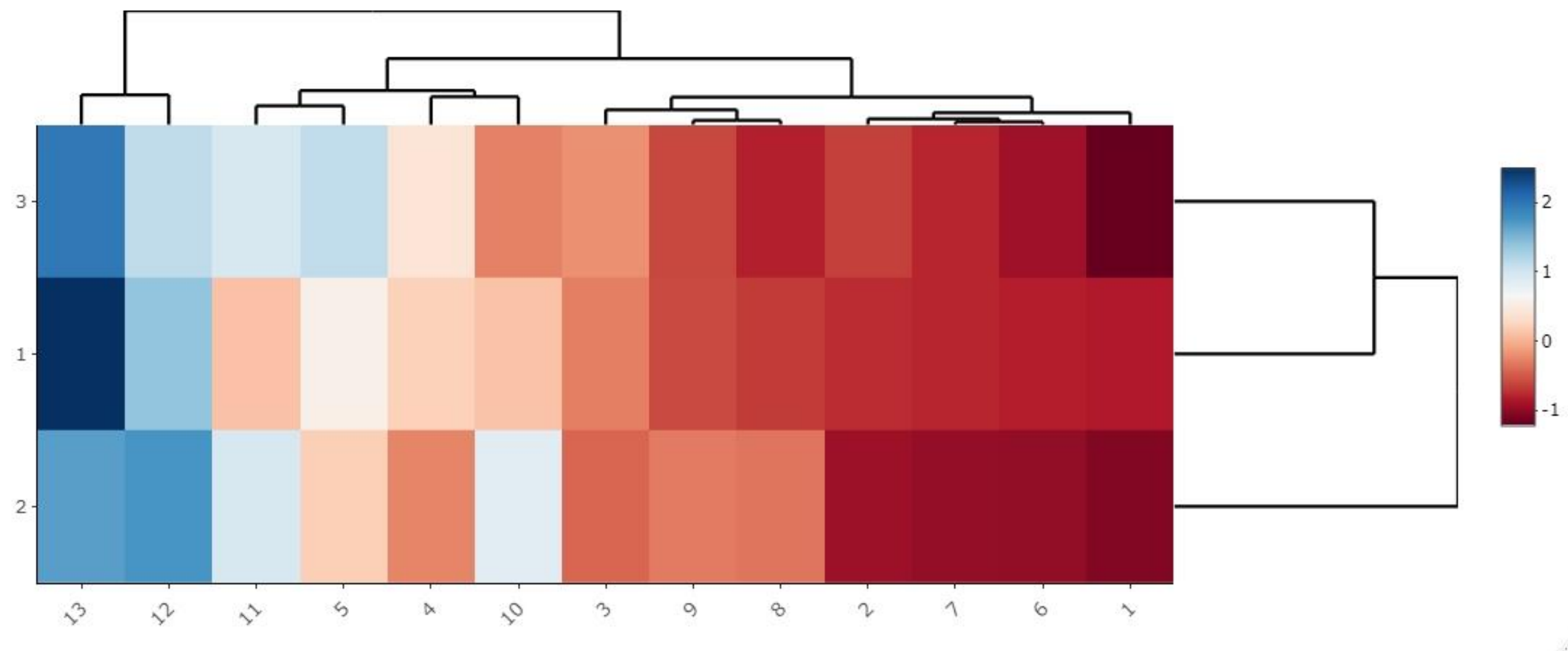
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenny
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszennym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszennym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszennym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszennym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wyłoków w chlebie pszennym
- 7- Próba z udziałem 5% wyłoków w chlebie pszennym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wyłoków w chlebie pszennym
- 9- Próba z udziałem 10% wyłoków w chlebie pszennym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszennym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszennym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszennym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszennym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość barwników fioletowych w skórce pieczywa [mg betacyjaniny/100g świeżej masy skórki]
- 2- Zawartość barwników żółtych w skórce pieczywa [mg betaksantyny/100g świeżej masy skórki]
- 3- Ogólna zawartość barwników betalainowych w skórce pieczywa [mg/100g świeżej masy skórki]

Wykres 65. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w skórce chlebów pszennych.



Legenda:

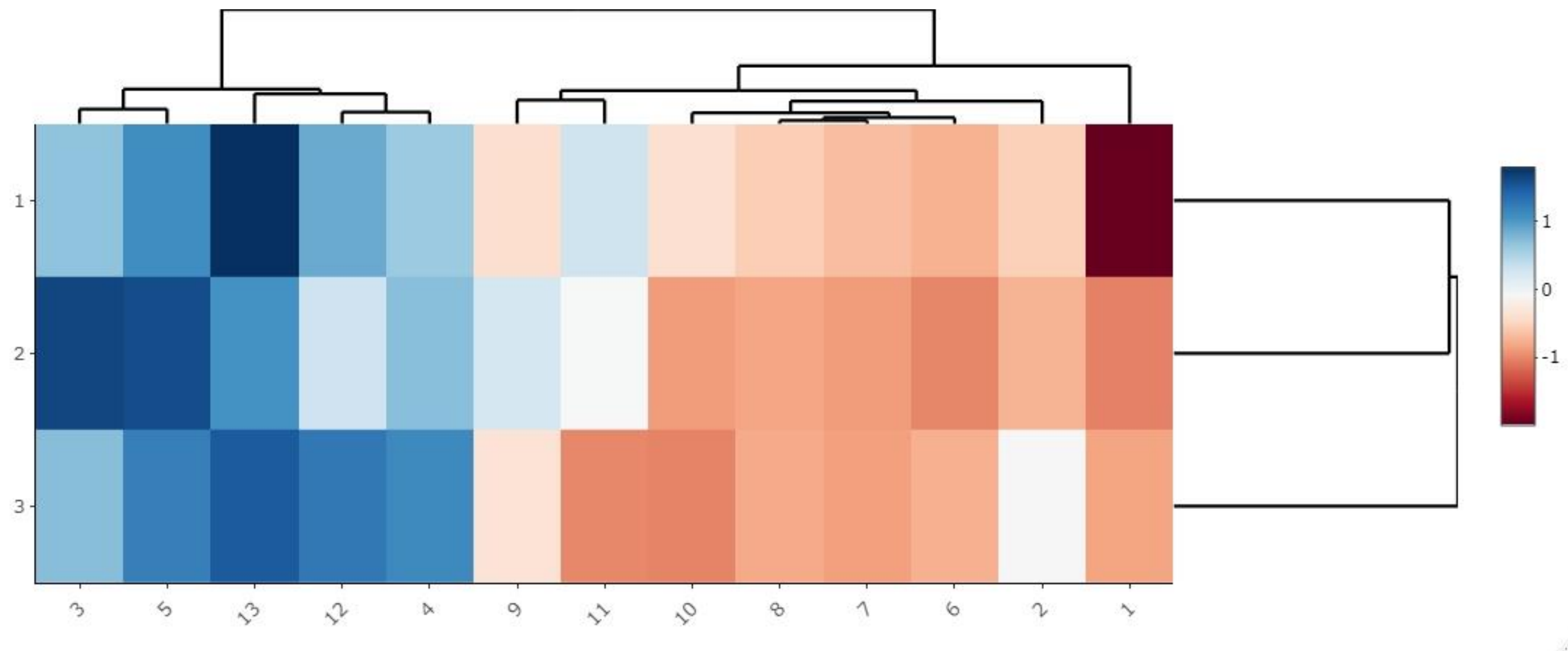
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenny
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszennym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszennym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszennym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszennym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszennym
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszennym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszennym
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszennym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszennym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszennym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszennym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszennym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość polifenoli ogółem w miększu pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy miększu]
- 2- Aktywność przeciwutleniająca miększu pieczywa zmierzona metodą ABTS [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy miększu]
- 3- Aktywność przeciwutleniająca miększu pieczywa zmierzona metodą DPPH [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy miększu]

Wykres 66. Mapa ciepła korelacji pomiędzy wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej miększu chlebów pszennych.



Legenda:

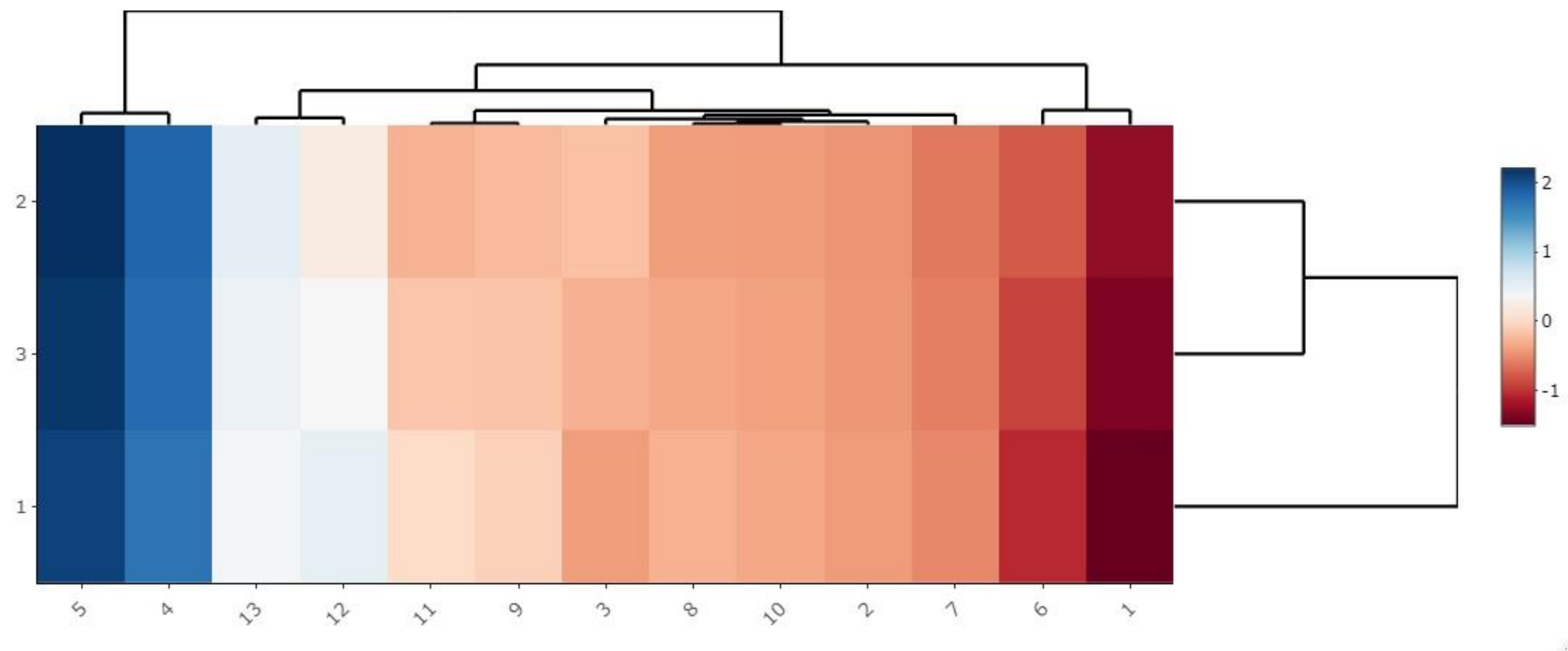
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenny
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszennym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszennym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszennym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszennym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszennym
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszennym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszennym
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszennym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszennym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszennym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszennym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszennym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość polifenoli ogółem w skórce pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy skórki]
- 2- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą ABTS [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy skórki]
- 3- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą DPPH [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy skórki]

Wykres 67. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszennych.



Legenda:

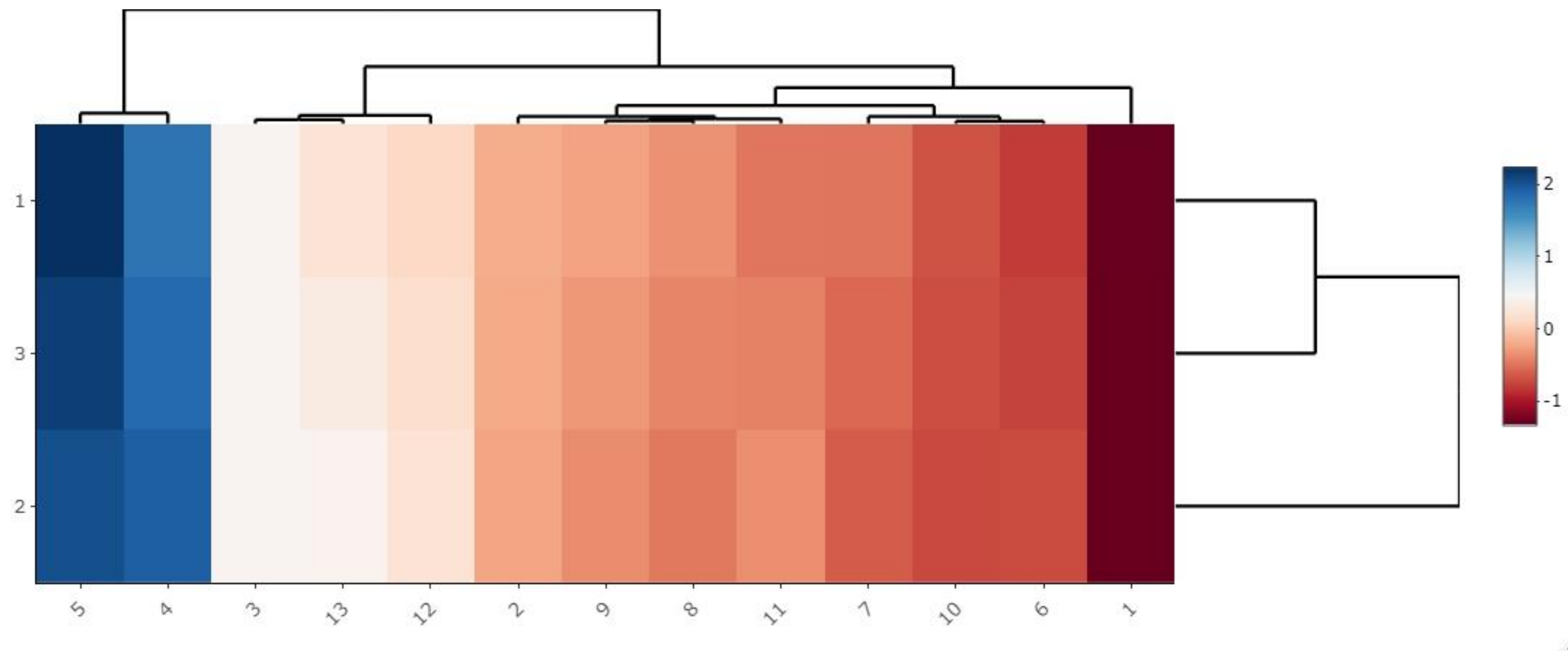
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-żytni
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-żytnim

Oś pionowa:

- 1- Zawartość barwników fioletowych w miększu pieczywa [mg betacyjaniny/100g świeżej masy miększu]
- 2- Zawartość barwników żółtych w miększu pieczywa [mg betaksantyny/100g świeżej masy miększu]
- 3- Ogólna zawartość barwników betalainowych w miększu pieczywa [mg/100g świeżej masy miększu]

Wykres 68. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w miększu chlebów pszenno-żytnich.



Legenda:

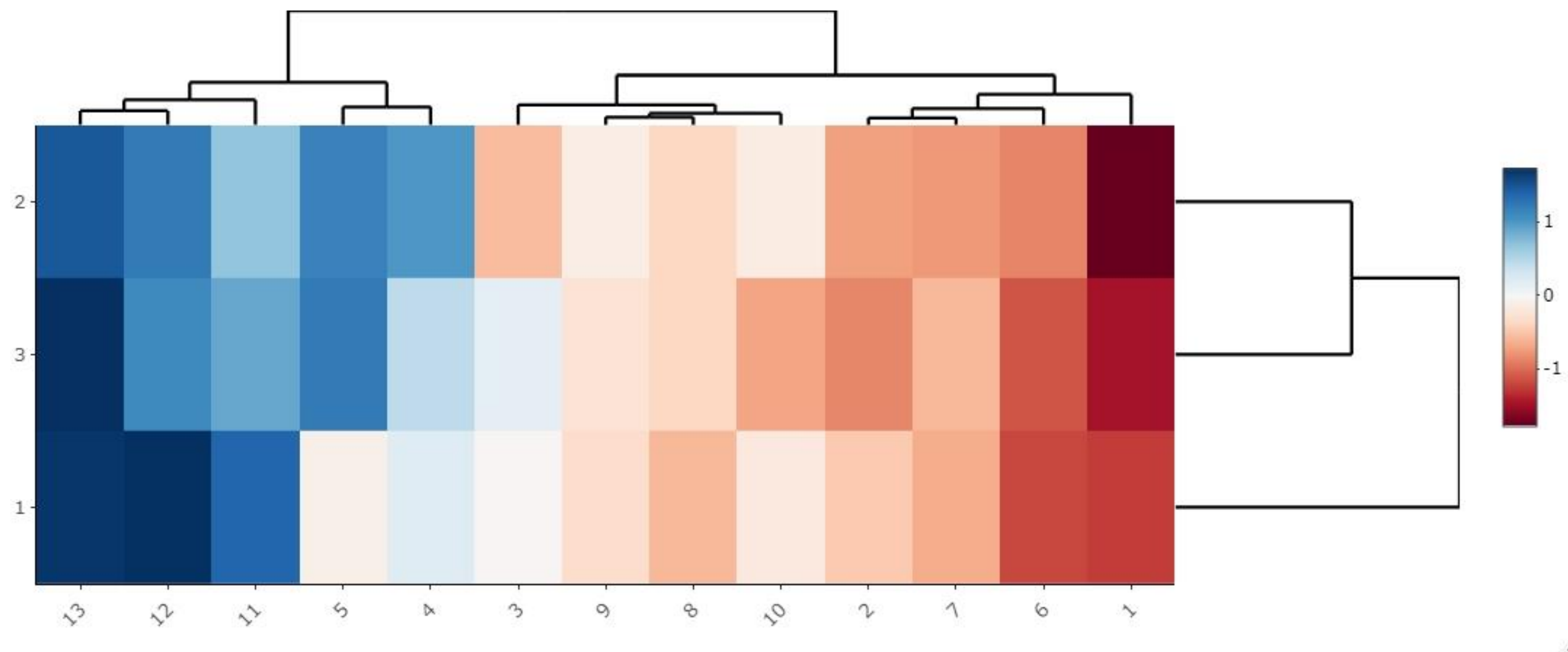
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-żytni
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 2,5% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 7- Próba z udziałem 5% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 8- Próba z udziałem 7,5% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 10% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-żytnim

Oś pionowa:

- 1- Zawartość barwników fioletowych w skórce pieczywa [mg betacyjaniny/100g świeżej masy skórki]
- 2- Zawartość barwników żółtych w skórce pieczywa [mg betaksantyny/100g świeżej masy skórki]
- 3- Ogólna zawartość barwników betalainowych w skórce pieczywa [mg/100g świeżej masy skórki]

Wykres 69. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych w skórce chlebów pszenno-żytnich.



Legenda:

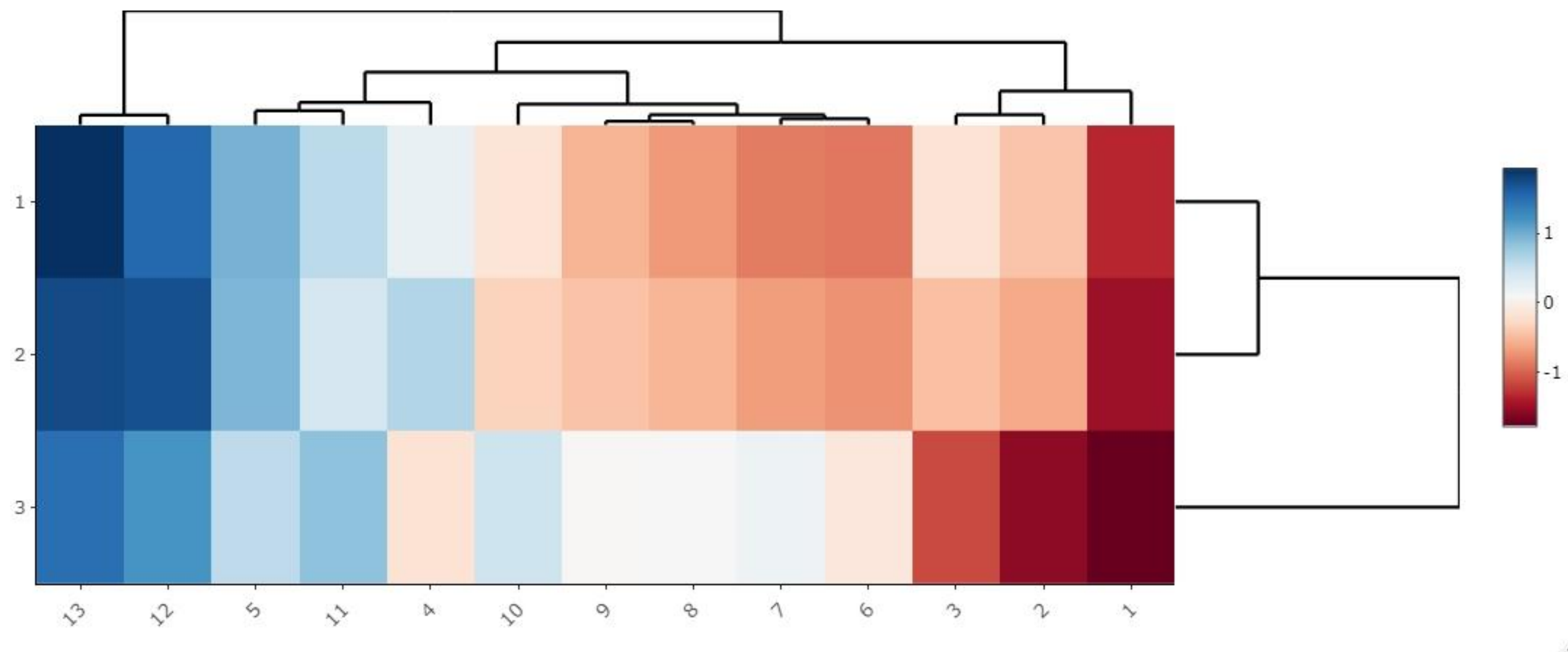
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-żytni
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-żytnim
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-żytnim

Oś pionowa:

- 1- Zawartość polifenoli ogółem w miększu pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy miększu]
- 2- Aktywność przeciwutleniająca miększu pieczywa zmierzona metodą ABTS [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy miększu]
- 3- Aktywność przeciwutleniająca miększu pieczywa zmierzona metodą DPPH [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy miększu]

Wykres 70. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej miększu chlebów pszenno-żytnich.



Legenda:

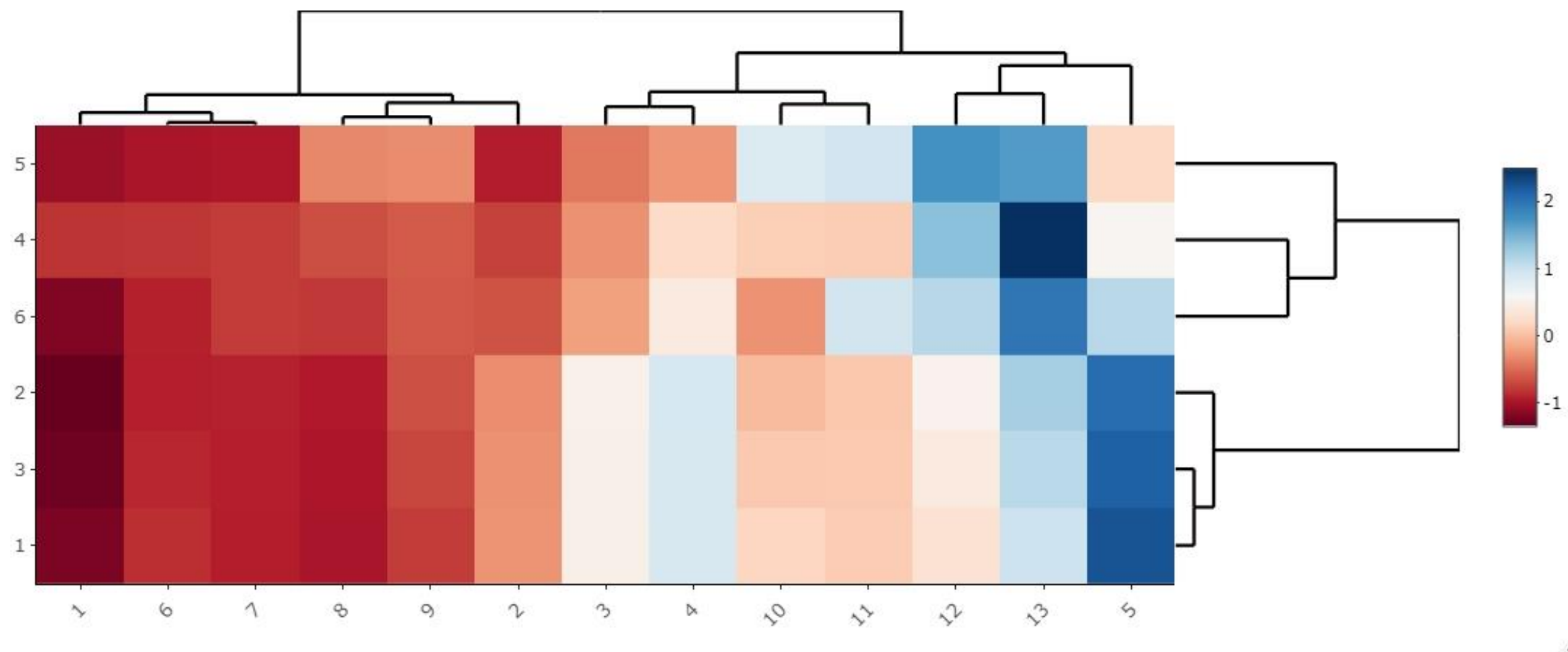
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-żytni
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-żytnim
- 6- Próba z udziałem 2,5% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 7- Próba z udziałem 5% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 8- Próba z udziałem 7,5% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 9- Próba z udziałem 10% wytlóków w chlebie pszenno-żytnim
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-żytnim
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-żytnim

Oś pionowa:

- 1- Zawartość polifenoli ogółem w skórce pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy skórki]
- 2- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą ABTS [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy skórki]
- 3- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą DPPH [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy skórki]

Wykres 71. Mapa ciepła korelacji pomiędzy wynikami zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszenno-żytnich.



Legenda:

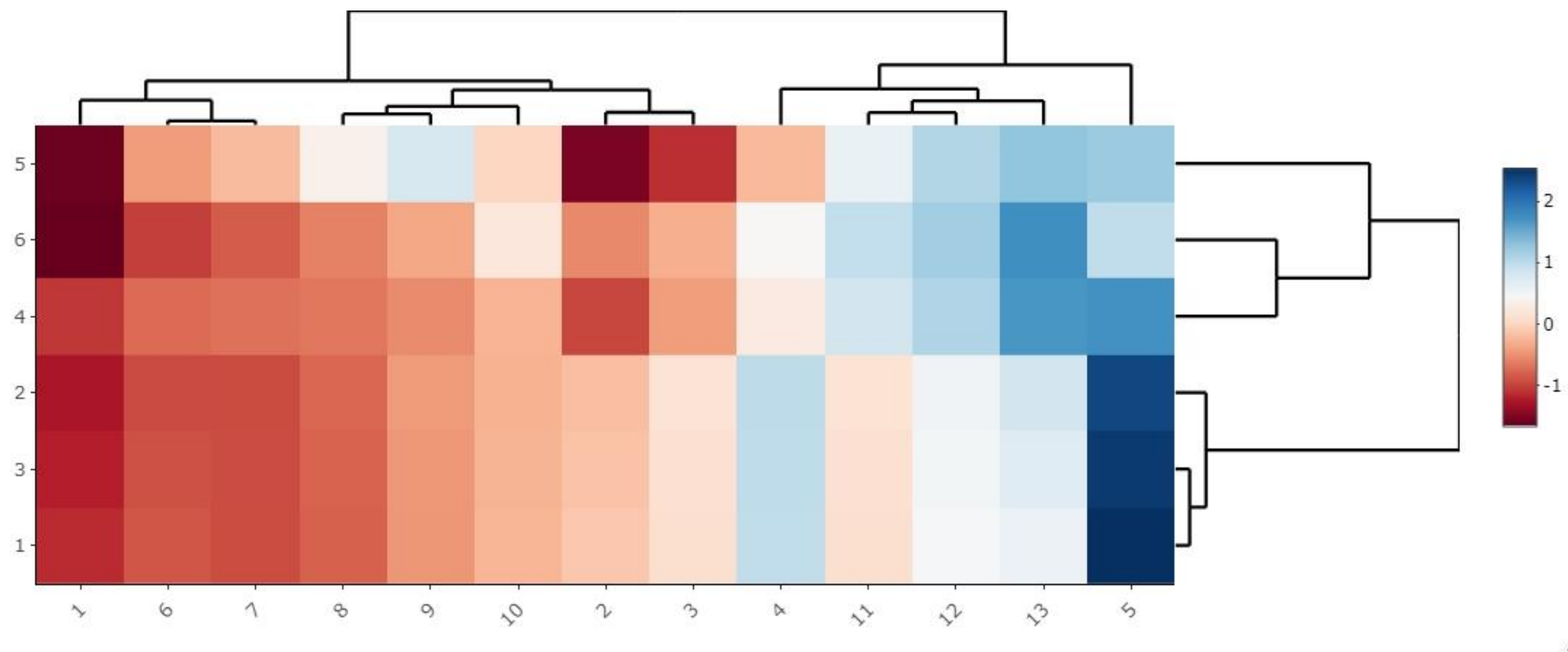
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-owsiany
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wyciągów w chlebie pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 5% wyciągów w chlebie pszenno-owsianym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wyciągów w chlebie pszenno-owsianym
- 9- Próba z udziałem 10% wyciągów w chlebie pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość barwników fioletowych w męku pieczywa [mg betacyjaniny/100g świeżej masy męku]
- 2- Zawartość barwników żółtych w męku pieczywa [mg betaksantyny/100g świeżej masy męku]
- 3- Ogólna zawartość barwników betalainowych w męku pieczywa [mg/100g świeżej masy męku]
- 4- Zawartość polifenoli ogółem w męku pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy męku]
- 5- Aktywność przeciwutleniająca męku pieczywa zmierzona metodą ABTS [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy męku]
- 6- Aktywność przeciwutleniająca męku pieczywa zmierzona metodą DPPH [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy męku]

Wykres 72. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych, polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej męku chlebów pszenno-owsianych.



Legenda:

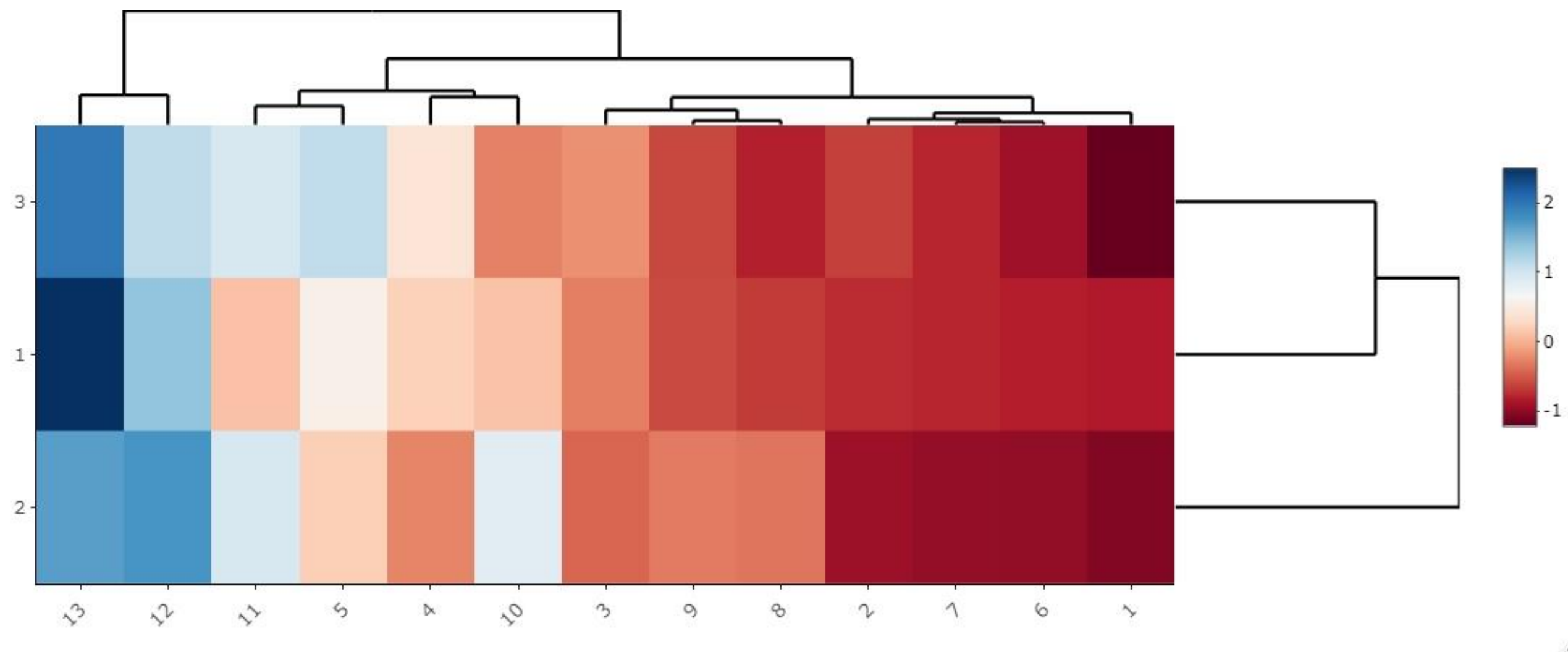
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-owsiany
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość barwników fioletowych w skórce pieczywa [mg betacyjaniny/100g świeżej masy skórki]
- 2- Zawartość barwników żółtych w skórce pieczywa [mg betaksantyny/100g świeżej masy skórki]
- 3- Ogólna zawartość barwników betalainowych w skórce pieczywa [mg/100g świeżej masy skórki]
- 4- Zawartość polifenoli ogółem w skórce pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy skórki]
- 5- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą ABTS [μmol Trolox/100g świeżej masy skórki]
- 6- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą DPPH [μmol Trolox/100g świeżej masy skórki]

Wykres 73. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości barwników betalainowych, polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszenno-owsianych.



Legenda:

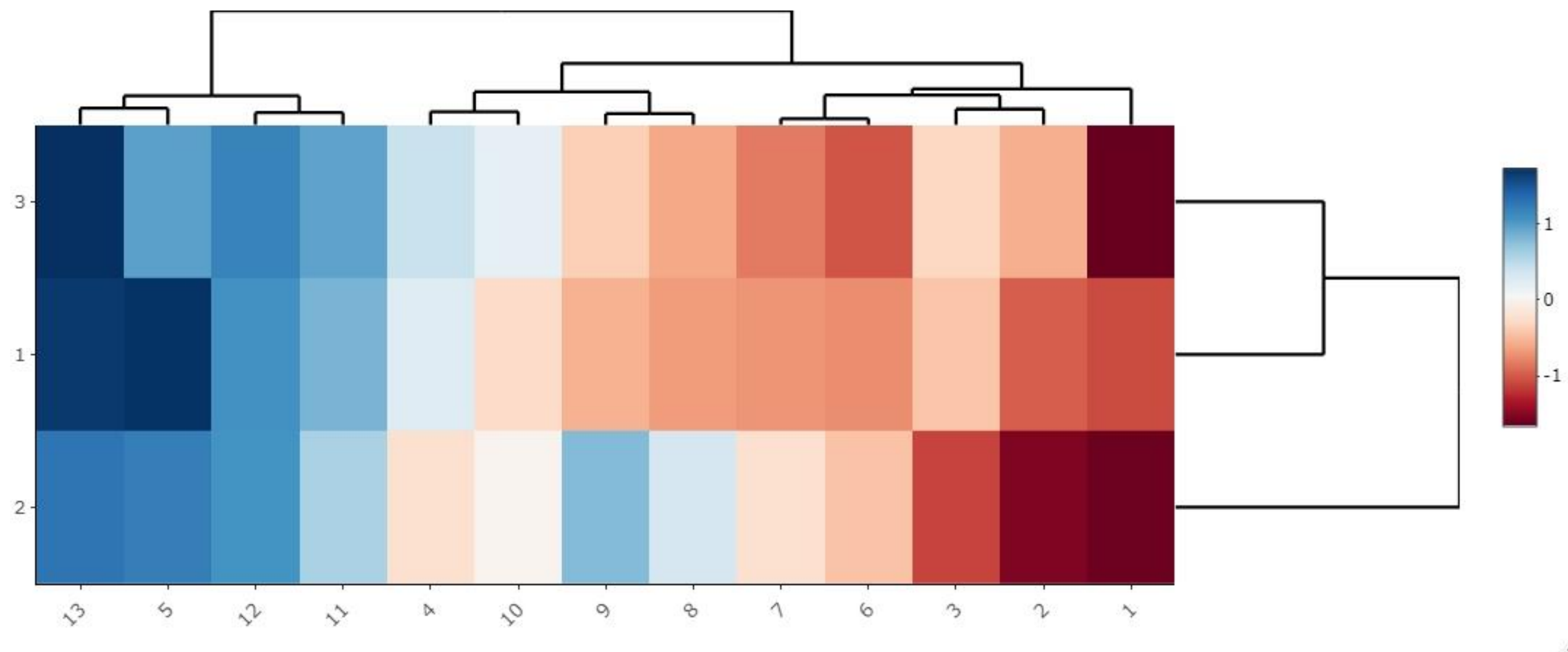
Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-owsiany
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość polifenoli ogółem w miększu pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy miększu]
- 2- Aktywność przeciwutleniająca miększu pieczywa zmierzona metodą ABTS [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy miększu]
- 3- Aktywność przeciwutleniająca miększu pieczywa zmierzona metodą DPPH [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy miększu]

Wykres 74. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej miększu chlebów pszenno-owsianych.



Legenda:

Oś pozioma:

- 1- Próba kontrolna – chleb pszenno-owsiany
- 2- Próba z udziałem 25% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 3- Próba z udziałem 50% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 4- Próba z udziałem 75% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 5- Próba z udziałem 100% soku w chlebie pszenno-owsianym
- 6- Próba z udziałem 2,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 7- Próba z udziałem 5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 8- Próba z udziałem 7,5% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 9- Próba z udziałem 10% wycieków w chlebie pszenno-owsianym
- 10- Próba z udziałem 2,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 11- Próba z udziałem 5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 12- Próba z udziałem 7,5% proszku w chlebie pszenno-owsianym
- 13- Próba z udziałem 10% proszku w chlebie pszenno-owsianym

Oś pionowa:

- 1- Zawartość polifenoli ogółem w skórce pieczywa [mg GAE/100g świeżej masy skórki]
- 2- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą ABTS [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy skórki]
- 3- Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa zmierzona metodą DPPH [$\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ świeżej masy skórki]

Wykres 75. Mapa ciepła korelacji pomiędzy średnimi wynikami analiz zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej skórki chlebów pszenno-owsianych.

