

ROBERT Z. IWAŃSKI

**Możliwości wykorzystania  
wybranych preparatów z bakteriami  
kwasu mlekowego jako czynnika  
poprawiającego przydatność  
technologiczną i żywieniową  
pieczywa pszenżytniego**

Szczecin 2013

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**ROBERT Z. IWAŃSKI**

**Możliwości wykorzystania wybranych preparatów  
z bakteriami kwasu mlekowego jako czynnika  
poprawiającego przydatność technologiczną i żywieniową  
pieczywa pszenżytniego**

Szczecin 2013

Recenzenci

WIKTOR OBUCHOWSKI

KAZIMIERZ SADKIEWICZ

WYDANO ZA ZGODĄ

REKTORA ZACHODNIOPOMORSKIEGO UNIwersYTETU TECHNOLOGICZNEGO W SZCZECINIE

ISBN 978-83-7663-166-0

Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

70-311 Szczecin, al. Piastów 48, tel. 91 449-47-60, e-mail: [wydawnictwo@zut.edu.pl](mailto:wydawnictwo@zut.edu.pl)

Druk PPH Zapół, Dmochowski, Sobczyk Sp.j., 71-062 Szczecin, al. Piastów 42, tel. 91 434-10-21, e-mail: [zarzad@zapol.com.pl](mailto:zarzad@zapol.com.pl)

# SPIS TREŚCI

1. WSTĘP .....	5
1.1. Wiadomości ogólne .....	5
1.2. Walory zdrowotne i żywieniowe pieczywa .....	6
1.3. Główne surowce wykorzystywane w produkcji pieczywa .....	6
1.4. Ekologia upraw zbóż .....	7
1.5. Charakterystyka pszenżyta .....	9
1.6. Fizykochemiczne właściwości ziarna pszenżyta .....	9
1.7. Technologiczne właściwości pszenżyta .....	11
1.7.1. Wiadomości ogólne .....	11
1.7.2. Wykorzystanie .....	12
1.7.3. Uprawa .....	13
1.8. Probiotyki .....	15
1.9. Aktywność przeciwutleniająca .....	22
1.9.1. Wiadomości ogólne .....	22
1.9.2. Tlen – podstawowy pierwiastek życia .....	22
1.9.3. Szok tlenowy .....	23
1.9.4. Nadtlenki i wolne rodniki .....	23
1.9.5. Przeciwutleniacze .....	24
1.9.6. Produkty reakcji Maillarda jako antyoksydanty .....	26
1.9.7. Pieczywo jako żywność funkcjonalna .....	26
2. CEL PRACY .....	29
3. MATERIAŁ I METODY .....	31
3.1. Materiał .....	31
3.2. Metody .....	33
4. WYNIKI .....	41
4.1. Wpływ dodatku startera fermentacji mlekowej oraz systemu uprawy pszenżyta na jakość mąki oraz ciasta .....	41
4.2. Wybór odmiany pszenżyta .....	45
4.3. Wypiek .....	45
4.3.1. Wypiek kontrolny .....	45
4.3.2. Porowatość oznaczona metodą Dallmanna .....	51
4.3.3. Ocena sensoryczna .....	54
4.4. Test TPA .....	59
4.4.1. Twardość .....	59
4.4.2. Przylepność .....	63
4.4.3. Sprężystość .....	68
4.4.4. Spoistość .....	71
4.4.5. Gumiastość .....	74
4.4.6. Zżuwalność .....	78
4.4.7. Elastyczność .....	82
4.5. Barwa pieczywa .....	85
4.6. Wpływ wybranych starterów fermentacji mlekowej na aktywność przeciwutleniającą pieczywa .....	91
4.6.1. Analiza mąki użytej do produkcji .....	91
4.6.2. Analiza wybranych preparatów probiotycznych wykorzystanych do produkcji pieczywa .....	92
4.6.3. Aktywność przeciwutleniająca TEAC (wobec kationorodnika ABTS <sup>•+</sup> ) .....	93

---

4.6.3.1. Wiadomości ogólne .....	93
4.6.3.2. Aktywność przeciwutleniająca pieczywa pszenżytniego .....	94
4.6.3.3. Aktywność przeciwutleniająca pieczywa pszennego .....	95
4.6.3.4. Aktywność przeciwutleniająca pieczywa żytniego .....	96
4.6.4. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH .....	97
4.6.4.1. Wiadomości ogólne .....	97
4.6.4.2. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w pieczywie pszenżytnim .....	97
4.6.4.3. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w pieczywie pszennym .....	99
4.6.4.4. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w pieczywie żytnim ....	99
4.6.5. Zawartość polifenoli .....	100
4.6.5.1. Wiadomości ogólne .....	100
4.6.5.2. Zawartość polifenoli w pieczywie pszenżytnim .....	102
4.6.5.3. Zawartość polifenoli w pieczywie pszennym .....	102
4.6.5.4. Zawartość polifenoli w pieczywie żytnim .....	103
5. DYSKUSJA .....	105
6. WNIOSKI .....	119
PIŚMIENNICTWO .....	121
SUMMARY .....	131
ZUSAMMENFASSUNG .....	133

# 1. Wstęp

## 1.1. Wiadomości ogólne

Pszenżyto (*Triticale*) to zboże z rodziny wiechlinowatych uzyskane w wyniku krzyżówek pszenicy (*Triticum*) i żyta (*Secale*). Wykazuje więcej zalet niż żyto i pszenica. Jest szczególnie odporne na choroby i wyleganie, zimotrwałe. Ma korzystny skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne, zawiera więcej białka niż ziarno żyta. Charakteryzuje się wysokim współczynnikiem strawności, a także korzystnym stosunkiem aminokwasów egzogennych, w tym dużym udziałem lizyny. Zastosowanie dodatku mąki pszenżytniej wpływa korzystnie na walory dietetyczne pieczywa (przyswajalność i strawność białek mąk), a także na zwiększenie jego wartości żywieniowej (Jędrzejczyk i Hoffmann 2008).

Obecnie technologia produktów zbożowych opiera się w głównej mierze na wysokogatunkowych mąkach pszennych oraz żytnich w postaci ukwaszonej (zakwas). Dostępna wiedza o zachowaniu mąki pszennej podczas wypieku daje możliwość przewidywania jakości wypieku i korekcji na etapie produkcji surowca (mąka) lub polepszenia na etapie przygotowania ciasta bądź wypieku. Stwarza to doskonałe warunki do projektowania końcowego wyrobu. Nadmierne spożycie jasnego pieczywa pszennego rodzi niebezpieczeństwo występowania chorób cywilizacyjnych (Angioloni i Collar 2011). Nowoczesnym trendem w dietetyce jest stopniowe ograniczanie spożycia niskowyciągowych wyrobów pszennych bądź ich zastępowanie produktami pełnoziarnistymi, co wpływa na zmniejszenie udziału pieczywa w diecie. Efektem końcowym jest systematyczny spadek spożycia produktów zbożowych, szczególnie pieczywa.

Alternatywą jest stosowanie mąk niestandardowych o ograniczonych właściwościach wypiekowych. Mąka pozyskiwana z pszenżyta może być używana do produkcji pieczywa, jednakże ma pewne ograniczenia jakościowe. Jej duża wodochłonność, krótszy czas stałości ciasta, jego mała rozciągliwość i elastyczność oraz duża lepkość pogarszają właściwości technologiczne i wypiekowe pieczywa. Szczególnie dotyczy to mąk z odmian uprawianych ekologicznie (Iwański 2011).

Pieczywo, znane nam od co najmniej 10 tys. lat, stanowi jeden z podstawowych produktów żywnościowych. Z badań archeologicznych wynika, że piekarnictwo istniało już w starożytności w Babilonie, Asyrii, Egipcie, Izraelu, Grecji oraz Imperium Rzymskim. Ziarna prażone z użyciem ognia, mające słodkawy smak, były jedną z najstarszych przygotowywanych potraw. Placki pieczone na węglach, w popiele i rozżarzonych kamieniach można uznać za pierwsze pieczywo neolitu. Początkowo wypiekano placki i chleby z niezakwaszonego ciasta. Wzmianki o produkcji pieczywa na zakwasach pochodzą ze starożytnego Egiptu i są datowane na około 2600 lat p.n.e. Z Egiptu umiejętność produkcji chleba na zakwasie przyjęli Grecy. Odrębnym rodzajem chleba były suche placki starożytnych Izraelitów. Ekspansja Imperium Rzymskiego sprzyjała uprawie zbóż i wypiekowi chleba. Najstarsze pieczywo wypiekane w Europie pochodzi z epoki kamiennej i brązu. Do Europy Środkowej i Północnej pieczywo na zakwasach przywędrowało około 800 roku p.n.e. Zastosowanie

drożdży piekarniczych w początkach XIX stulecia spowodowało rewolucyjne zmiany w technologii produkcji pieczywa. Wygląd i właściwości chleba zmieniały się znacznie w ciągu wieków dzięki doskonaleniu techniki otrzymywania mąki oraz przyrządzania i wypieku ciasta (Diowkszc 2006).

## 1.2. Walory zdrowotne i żywieniowe pieczywa

Zboża i przetwory zbożowe są źródłem wielu niezbędnych dla organizmu ludzkiego składników odżywczych, w szczególnym stopniu dotyczy to pieczywa, produktu spożywanego powszechnie i w znacznych ilościach. Ze względu na znaczenie żywieniowe pieczywo musi spełniać bardzo wysokie wymagania tak jakościowe, jak i zdrowotne, a jednocześnie musi zaspokajać oczekiwania konsumentów (Haber i Ceglińska 2006).

Wzrost zainteresowania produktami piekarskimi i zwiększenie popytu na nie mogą być osiągnięte przez wykorzystanie mąki uzyskanej ze zbóż uprawianych w warunkach ekologicznych czy częstsze niż dotychczas stosowanie mąki z pszenżyta oraz takich dodatków, jak produkty otrzymane z szarłatu (amarantusa). Pieczywo ekologiczne staje się coraz bardziej poszukiwane. Podjęcie takiej produkcji jest uzasadnione względami ekonomicznymi, a jednocześnie może się przyczynić do rozszerzenia produkowanego asortymentu. Wprowadzając nowe pieczywo, tzw. ekologiczne, należy pamiętać, że nie ma ono zastąpić jakichkolwiek wyrobów obecnie produkowanych. Ma natomiast zwiększyć ofertę pieczywa dla konsumentów (Haber i Ceglińska 2006).

Znaczenie chleba w żywieniu człowieka powinno wzrastać, ponieważ produkt ten zawiera ważne pod względem żywieniowym substancje (m.in. inozytol, lignany, fruktooligosacharydy – prebiotyk, włókno pokarmowe), a także może być wykorzystany jako podstawowy dodatek do wyrobów bogatych w substancje biologicznie aktywne. Chleb XXI wieku jest najlepszym źródłem biologicznie aktywnej substancji ważnych w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. Należy jednocześnie oferować technologię wypieku nadającą produktowi atrakcyjne smakowo-zapachowe właściwości. Biorąc pod uwagę, że podstawę dziennej racji pokarmowej przeciętnego człowieka stanowią przetwory zbożowe, wzbogacanie ich w związki biologicznie aktywne bądź inne mające pozytywny udokumentowany wpływ na zdrowie może znacząco wpłynąć na poprawę zdrowia konsumenta (Piesiewicz 2007).

## 1.3. Główne surowce wykorzystywane w produkcji pieczywa

**Pszenica** to zboże z rodziny wiechlinowatych, mające największe znaczenie w produkcji żywności w skali światowej. Jest rośliną ze strefy klimatu umiarkowanego. Najbardziej przyjaznym i odpowiednim środowiskiem dla pszenicy są gleby zasobne w składniki pokarmowe, o uregulowanych stosunkach wodnych, niezakwaszone, o wartości pH 6. Pszenica jest wykorzystywana do produkcji chleba i innych wyrobów piekarskich. Odmianę jarą częściej stosuje w uprawie ekologicznej ze względu na niższe koszty produkcji, tańsze koszty zwalczania chwastów, lepszą jakość ziarna i możliwość uprawy na mniej żyznych glebach.

**Żyto** (*Secale*) jest zaliczane do roślin jednorocznych, dwuletnich lub wieloletnich z rodziny wiechlinowatych. Zajmuje jedno z podstawowych miejsc wśród zbóż uprawianych w Polsce. Ziarno, po przetworzeniu na mąkę, stosuje się do wypieku pieczywa. Żyto jest zbożem uprawianym na glebach lekkich, co wynika z jego dobrze rozwiniętego systemu korzeniowego, oszczędnej gospodarki wodą i większej tolerancji na kwaśny odczyn gleby. Ważnymi cechami żyta, mającymi duże znaczenie w uprawie ekologicznej, są małe wymagania cieplne i szybki wzrost po wiosennym ruszeniu wegetacji, dzięki czemu skuteczniej może konkurować z otaczającymi chwastami. Żyto jest mało podatne na choroby, odporne na niskie temperatury oraz wyróżnia się zdolnością pobierania składników pokarmowych ze związków trudno dostępnych – obecnych w glebie.

**Pszenżyto** (*Triticale*) to zboże z rodziny wiechlinowatych uzyskane w efekcie krzyżówek pszenicy (*Triticum*) i żyta (*Secale*). Z badań wynika, że pszenżyto może stać się jedną z głównych roślin zbożowych uprawianych w Polsce. Wykazuje więcej zalet niż żyto i pszenica. Jest szczególnie odporne na choroby i wyleganie, zimotrwałe. Ma korzystny skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne, zawiera też więcej białka niż ziarno żyta. Charakteryzuje się wysokim współczynnikiem strawności, korzystnym stosunkiem aminokwasów egzogennych, w tym dużym udziałem lizyny. Mąka z pszenżyta może być używana do produkcji chleba, wykazuje dużą wodochłonność, lecz ciasto z niej otrzymane ma krótszą stałość, małą rozciągliwość i elastyczność, dużą lepkość. Udział mąki pszenżytniej wpływa korzystnie na uzyskane pieczywo. Smak jest bardziej neutralny, mniej kwaśny, a miękisz bardziej pulchny i mniej zbity. Pszenżyto stosowane jest w uprawach ekologicznych ze względu na niższy stopień nawożenia azotowego, tolerancję na zakwaszone gleby, wysokie i niskie temperatury (Iwański 2011).

## 1.4. Ekologia upraw zbóż

Zboże zajmuje szczególnie ważną pozycję wśród roślin uprawnych. Jest uznawane za ekologiczne, jeśli otrzymano je bez udziału syntetycznych produktów chemicznych na działce, na której nie wprowadzano chemikaliów od co najmniej dwóch lat. Dozwolone są nawozy naturalne, takie jak kompost, obornik. Dopuszcza się też trudno rozpuszczalne nawozy mineralne i kilka produktów fitosanitarnych uzyskiwanych na bazie ekstraktów roślinnych. Walka z chwastami lub chorobami jest oparta głównie na prewencji, m.in. przez odpowiedni płodozmian, płytkie zabiegi uprawowe, dobór odmian roślin odpornych na choroby (nawet kosztem niskiej wydajności z jednostki powierzchni) i stymulację życia drobnoustrojów w glebie. Ze względu na znaczenie żywienia pieczywo powinno spełniać bardzo wysokie wymagania zdrowotne, a jednocześnie musi zaspokajać oczekiwania konsumentów, które są z każdym rokiem coraz większe. W składzie konwencjonalnej żywności można znaleźć nawet 80% różnego typu związków chemicznych pochodzących ze środków ochrony roślin, a w żywności ekologicznej tylko 4,7%. Rynek produktów naturalnych stale rośnie. Coraz częściej konsumenci wybierają żywność ekologiczną i wytworzoną w sposób naturalny. Żywność ekologiczna, w porównaniu z konwencjonalną, zawiera większe ilości witamin, żelaza i magnezu.



Wypiek pieczywa ekologicznego ma charakter niszowy, ale produkt ten jest coraz bardziej poszukiwany przez społeczeństwo oczekujące naturalnego, smacznego pieczywa.

Rolnictwo ekologiczne jest specyficzną formą gospodarowania i produkcji żywności. Żywność jest wytwarzana metodami naturalnymi w czystym i bezpiecznym środowisku, bez nawozów sztucznych i syntetycznych środków ochrony roślin, antybiotyków, hormonów wzrostu i genetycznie modyfikowanych organizmów (GMO). Dzięki wykluczeniu tych substancji rolnictwo ekologiczne nie powoduje zanieczyszczenia gleby i wód, ogranicza wypłukiwanie składników pokarmowych z gleby i sprzyja różnorodności biologicznej.

W rolnictwie ekologicznym są stosowane różne metody produkcji, m.in. metoda biodynamiczna, organiczno-biologiczna, organiczna oraz biologiczna. Oprócz metod pośrednich (odpowiedni płodozmian, dobór odmian, jakość materiału siewnego, termin i gęstość siewu) jest stosowana mechaniczna pielęgnacja zasiewów, głównie przez bronowanie. Dzięki stosowaniu biologiczno-technicznej uprawy gleby oraz biologiczno-mechanicznej ochrony roślin jest zachowana równowaga biologiczna w środowisku przyrodniczym.

Do głównych celów rolnictwa ekologicznego należy:

- ochrona środowiska naturalnego: gleby, wody, krajobrazu;
- wysoka jakość biologiczna płodów rolnych, zbliżona do produktów powstających naturalnie w przyrodzie;
- utrzymanie oraz podwyższenie trwałej żyzności gleby;
- dążenie do zamknięcia obiegu materii organicznej i składników pokarmowych w obrębie gospodarstwa;
- utrzymanie genetycznej różnorodności wszystkich żywych składowych gospodarstwa rolnego i jego otoczenia.

Do uprawy ekologicznej są przydatne gatunki zbóż niewymagające stosowania intensywnego nawożenia i środków ochrony roślin. Do tej grupy zbóż można zaliczyć orkisz. Jego większą odporność na czynniki zewnętrzne podczas wzrostu roślin oraz przechowywania ziarna przypisuje się plewkom, które ściśle otulają ziarniaki i stanowią naturalną barierę chroniącą przed chorobami zbożowymi, szkodnikami, zanieczyszczeniami, metalami ciężkimi, pozostałościami pestycydów, a także promieniowaniem radioaktywnym. W przypadku pszenicy są preferowane odmiany o wysokiej wartości wypiekowej, natomiast w przypadku żyta korzystna jest produkcja oparta na tzw. biohybrydach, dostosowanych do nawożenia azotem i odpornych na niekorzystne warunki klimatyczne (Piesiewicz 1997).

Uprawa ekologiczna wpływa na wartość odżywczą, właściwości fizyczne (kształt, objętość, barwę, zapach) i skład chemiczny ziarna. W odmianach ekologicznych zbóż następuje koncentracja naturalnych antyoksydantów z grupy kwasów fenolowych (kwas ferulowy do 90%).

Wartość technologiczna (wartość wypiekowa) zbóż zależy od wielu czynników, które zostały podzielone na: pierwotne, wtórne i pośrednie. Do czynników pierwotnych są zaliczane: cechy gatunkowe i odmianowe, warunki glebowe i klimatyczne oraz zabiegi agrotechniczne. W produkcji ekologicznej istotnie zmieniają się zabiegi agrotechniczne. Przez ich zmianę można wpłynąć na cechy zboża, a tym samym kształtować wartość wypiekową uzyskanej z niego mąki. Mąki ekologiczne, w porównaniu z konwencjonalnymi, zawierają mniej azotu, cechują się lepszymi właściwościami fizykochemicznymi, bogatszym składem chemicznym.

nym, pieczywo natomiast charakteryzuje się wyraźniejszym zapachem, łagodniejszym i słodszym smakiem, odpowiednią barwą skórki. Jest wolne od pestycydów, antybiotyków, hormonów wzrostu, nawozów syntetycznych, metali ciężkich i niemodyfikowane genetycznie. Dążenie do zdrowego odżywiania się powoduje, że wzrasta zainteresowanie produktami o niskim stopniu przetworzenia, ale jednocześnie o wysokiej wartości odżywczej. Stąd coraz większą popularność zyskuje żywność pochodząca z gospodarstw ekologicznych, określana jako „ekologiczna” bądź „alternatywna” (Krawczyk i in. 2008).

Pieczywo ekologiczne, produkowane z mąki otrzymanej ze zbóż uprawianych metodami ekologicznymi, różni się od pieczywa konwencjonalnego mniejszą zawartością azotanów i azotynów oraz pozostałościami pestycydów. Zawiera więcej witamin z grupy B, wartościowego białka, węglowodanów, substancji przeciwutleniających oraz mikro- i makroelementów. Bardzo ważna jest mniejsza zawartość azotanów i azotynów, gdyż zwiększają one prawdopodobieństwo powstawania w organizmie substancji rakotwórczych oraz występowania pozostałości pestycydów, które mają toksyczne oddziaływanie na organizm człowieka.

Zboże uprawiane bez stosowania sztucznych nawozów i chemicznych środków ochrony roślin i niemodyfikowane genetycznie pozwala na wytworzenie żywności o wysokich walorach żywieniowych (Ślęzak 2007).

## 1.5. Charakterystyka pszenżyta

Pszenżyto jest hybrydą powstałą przez przeniesienie genomów A i B pszenicy durum (*Triticum aestivum* L.) i genomu R żyta (*Secale cereale* L.) – Rakha i in. (2011). Zboże to powstało w celu połączenia wysokiego uzysku i dobrej jakości ziarna pszenicy oraz odporności na warunki środowiskowe ziarna żyta, w szczególności na warunki zimowe (Bender 2006). Uprawa pszenżyta doskonale sprawdza się na ubogich glebach, dając wysoki uzysk w gospodarstwach, w których hodowla pszenicy jest ograniczona.

## 1.6. Fizykochemiczne właściwości ziarna pszenżyta

Wraz ze zwiększeniem masy 1000 ziaren (MTZ) wzrasta ich gruboziarnistość oraz zmienia się skład chemiczny. Gęstość usypowa ziarna koreluje z jego podstawowymi wskaźnikami właściwości technologicznych. Za najbardziej wartościowe uważa się ziarno o wysokiej MTZ i kształcie zbliżonym do kulistego, co przekłada się na zawartość większej ilości bielma. Kształt oraz liniowe rozmiary ziarna wpływają na wybór sposobu jego przechowywania oraz przetwarzania.

Jak podają Ivanov i Prokopenko (1986), pszenżyto odróżnia się od pszenicy około 1,4 razy większą objętością ziarna, natomiast pszenica przewyższa je swoją sferycznością. Im bardziej kształt ziarna odbiega od okrągłego, tym ma ono mniejszą sypkość. Sypkość pszenżyta jest mniejsza. Według Ivanova i Prokopenki (1986) przeciętny skład ziarna pszenżyta przedstawia się następująco:

- woda: 14,0%,
- białko: 12,8%,
- węglowodany: 68,6%,
- tłuszcz: 1,5%,
- błonnik: 3,1%,
- popiół: 2,0%.

Endosperma zawiera białka rozpuszczalne w:

- wodzie: 26–28%,
- kwasie octowym: 18–20%,
- roztworze NaCl: 7–8%,
- etanolu: 25–26%.

Pszenica, żyto oraz pszenżyto mają wspólną cechę – ich ziarna zawierają tym więcej białka, im bardziej są oddalone od dolnych warstw kłosa. Wartość odżywcza białka zależy od zawartości w nim niezbędnych aminokwasów. W przypadku ziarna pszenżyta, podobnie jak i innych zbóż chlebowych odmian, aminokwasem ograniczającym jest lizyna (tabela 1). Dlatego zawartość lizyny w białku stanowi wskaźnik jego jakości. Białko pszenżyta zawiera większe ilości lizyny niż pszenica lub żyto i dzięki temu ma wyższą wartość biologiczną. W białku zapasowym przeważają frakcje prolamin i glutelin, wchodzących w skład białek tworzących gluten. Białka ziarna pszenżyta zawierają: albuminy (średnio 5–10%); globuliny (średnio 6–7%); prolaminy (średnio 30–37%) i glutaminy (średnio 15–20%) – Ivanov i Prokopenko (1986).

Tabela 1. Zawartość aminokwasów w białkach pszenicy i pszenżyta (1g aminokwasu/100 g ogólnej ilości azotu)

Aminokwas	Pszenica	Pszenżyto
Lizyna	17,9	19,6
Walina	27,6	24,2
Leucyna	45,0	41,7
Izoleucyna	20,4	18,7
Metionina	9,4	6,0
Treonina	18,3	19,6
Tryptofan	6,8	6,3
Fenylalanina	28,2	28,6
Cystyna	15,9	7,9
Tyrozyn	18,7	19,5
Arginina	28,8	38,2
Histydyna	14,3	13,3
Alanina	22,6	25,8
Kwas asparaginowy	30,8	41,6
Glicyna	186,6	152,8
Prolina	25,4	26,5
Seryna	62,1	52,1

Źródło: Ivanov i Prokopenko (1986).

Największą koncentracją związków białkowych charakteryzują się zewnętrzne warstwy bielma i warstwa aleuronowa. Zawartość białka, jak i jego jakość w dużym stopniu rów-

niez są uzależnione od pogody podczas wegetacji i technologii uprawy. Korzystne dla ilości białka okazuje się nawożenie azotowe, stosowanie mikroelementów i dobre zaopatrzenie w pozostałe składniki mineralne. Sprzyja temu również uprawa pszenżyta po przedplonach niezborowych. Ziarno pszenżyta charakteryzuje się także dużą zawartością popiołu, niższą ilością komponentów węglowodanowych oraz obecnością specyficznego węglowodanu żyta – 3-fruktozanu. Wszystkie odmiany pszenżyta mają więcej azotu rozpuszczalnego w wodzie niżeli formy rodzicielskie. Głównym składnikiem ziarna pszenżyta jest skrobia (około 65%). Ilość glutenu w ziarnie pszenżyta jest podobna do jego ilości w pszenicy, ale jakość w większości przypadków jest niższa. Do głównych substancji mineralnych w pszenżycie należą fosfor i potas. Występują także wapń, magnez, mangan, żelazo, miedź, cynk, fluor i inne (tabela 2).

Tabela 2. Zawartość makro- i mikroelementów w ozimym ziarnie pszenżyta

Wskaźniki	Zawartość
Ogólny N	1,65–2,22%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,96–1,15%
K <sub>2</sub> O	0,71–0,75%
Ca	0,03–0,05%
Mo	0,28–0,32%
Fe	43,3–47,1 mg/kg
Zn	21,5–25,7 mg/kg
Mn	9,30–12,7 mg/kg
Cu	3,00–3,20 mg/kg
Co	0,10–0,17 mg/kg

Źródło: Ivanov i Prokopenko (1986).

## 1.7. Technologiczne właściwości pszenżyta

### 1.7.1. Wiadomości ogólne

Wydajność mąki z ziarna pszenżyta jest o kilka procent mniejsza niż mąki z ziarna pszenicy, ale większa niż mąki żytniej. Różnice wynikają z innej budowy anatomicznej ziarna pszenżyta, które ma grubszą okrywą owocowo-nasienną niż pszenica, z tego powodu podczas przemiału część bielma przechodzi do otrąb. Dlatego jest ono stosowane w produkcji ciemniejszych typów mąk, czyli razowych, co ma znaczenie nie tylko ekonomiczne, ale i żywieniowe. Chleb z pszenżyta ma większą wartość odżywczą niż z pszenicy lub żyta.

Mąka z pszenżyta, ze względu na specyficzne właściwości białek glutenu, stanowi bardzo dobry surowiec dla przemysłu cukierniczego, co pozwala wypiekać herbatniki, pierniki, keksy, biszkopty o wyższej jakości niż z mąki pszennej. Mąka z pszenżyta dobrze nadaje się do ciasta kruchego, które jest wykorzystywane przy produkcji herbatników i krakersów. W Polsce wypieka się chleb żytni na podstawie specjalnego fermentowanego ciasta z dodatkiem mąki pszenżytniej. W większości państw pszenżyto znajduje zastosowanie przy produkcji płatków (Vasiličenko 1980). Z tego względu pszenżyto, mające odmienne cechy technologiczne niż pszenica i żyto, umożliwia produkcję nowych wyrobów prozdrowotnych o korzystnych cechach sensorycznych. Mąka pszenżytnia zawiera mniej białka niż pszena, po-

nieważ w procesie przemiału duża jego ilość, wraz z okrywą owocowo-nasienną, przechodzi do otrąb. O wartości wypiekowej mąki decyduje nie tylko ilość, ale także jakość białka, którą można określić za pomocą testu sedymentacji. Mąka pszenżytnia charakteryzuje się na ogół niższymi liczbami sedymentacji niż pszenna, niektóre odmiany mogą jednak dorównywać właściwościami sedymentacyjnymi pszenicy o średniej wartości wypiekowej. Należą do nich Dublet i Woltario. Z punktu widzenia technologii piekarnictwa istotne są właściwości reologiczne ciasta. Powodują one istotne różnice między ciastem pszenżytnim a ciastem pszennym i żytnim. Mąka pszenżytnia ma dość dużą wodochłonność, ale ciasto z niej otrzymane charakteryzuje się krótszym czasem rozwoju i niższą stałością. Ciasto pszenżytnie wykazuje małą rozciągliwość i elastyczność oraz dużą lepkość, natomiast czas rozwoju i stałość są zbliżone do ciasta żytniego. Zatem właściwości ciasta są specyficzne, właściwe dla gatunku, co pozwala na uzyskanie ciasta o specyficznych walorach smakowych. Zdolność do tworzenia gazów przez ciasto z mąki pszenżytniej jest porównywalna z ciastem z mąki pszennej, ale zdolność do zatrzymania gazów jest niższa (72–79%) – Podolska (2008). Pod względem właściwości i struktury ciasto pszenżytnie wykazuje duże podobieństwo do ciasta pszennego niskiej jakości. Stosując jednak modyfikacje tradycyjnych metod wypieku, można z mąki pszenżytniej uzyskać dobre jakościowo pieczywo o specyficznym smaku i lepszych właściwościach organoleptycznych niż pieczywo pszenne.

### 1.7.2. Wykorzystanie

W Polsce około 90% produkowanego pszenżyta to forma ozima, wykorzystywana prawie w całości na pasze dla trzody chlewnej i drobiu. Ze względu jednak na korzystne właściwości funkcjonalne tego zboża są podejmowane próby jego wykorzystania również w przemyśle spożywczym, np. w produkcji chleba, herbatników, pierników i biszkoptów, piwa pszenżytniego. Analiza cech jakościowych pszenżyta wskazuje, iż zboże to może być szczególnie przydatne jako surowiec w produkcji wyrobów śniadaniowych wytwarzanych metodą ekstrudowania.

Za uprawą pszenżyta przemawiają m.in. czynniki związane z produkcją, tj.: tolerancja na słabsze warunki glebowe i niskie temperatury, duża odporność na choroby w porównaniu z pszenicą i żytem oraz wysoka plenność przy stosunkowo niskich nakładach energetycznych, a także walory żywieniowe wynikające m.in. z wysokiej zawartości białka o korzystnym składzie aminokwasowym, wysokiego współczynnika strawności, niskiej zawartości związków antyżywniowych, prawie dwukrotnie wyższej zawartości fitoestrogenów niż w pszenicy, wysokiej (o 50% wyższej niż w życie) zawartości błonnika i związków mineralnych (Heger i Eggum 1991).

Mimo wszystkich już wcześniej omówionych zalet pszenżyto nie jest jednak wykorzystywane na dużą skalę w przemyśle spożywczym. Jest to związane z następującymi czynnikami:

1. Uwarunkowaniami rynkowymi. Tradycyjne rynki pszenicy, żyta, jęczmienia i owsa są stabilne i stosunkowo wiarygodne. Ceny są kontrolowane w większości państw świata.

Przez wiele lat rolnicy zadają pytanie, czy uprawa pszenżyta nadal pozostanie w niszy rynkowej, czy wejdzie do głównego nurtu rynku zbóż na świecie.

2. Dominacją pszenicy. Pszenżyto ma podobne właściwości do pszenicy i dlatego może być wykorzystywane w tych samych produktach, ale ze względu na wiekowe przyzwyczajenia dotyczące mielenia, obróbki i przetworzenia pszenicy, których nie będzie łatwo zmienić, pszenżyto nie jest powszechnie stosowane.

3. Jakością ziarna. Ze względu na zawartość słabego glutenu lub jego brak w ziarnie potencjał pszenżyta nie jest wykorzystywany w znacznym stopniu w branży spożywczej.

4. Niestabilnością genetyczną. Mimo wysokiej płodności nowoczesnych odmian pszenżyta dalsze doskonalenie genetyczne stabilności układu rozrodczego byłoby pożądane.

5. Chorobami. Opinia o pszenżycie jako o roślinie odpornej na większość chorób z czasem będzie zanikać, ponieważ zaobserwowano procesy związane z adaptacją patogenów do czynników zwalczających choroby pszenżyta. Za przykład może posłużyć zaraza rdzy w Australii (Guedes-Pinto i in. 1996).

### 1.7.3. Uprawa

Polska należy do głównych producentów pszenżyta. Uprawę pszenżyta na szeroką skalę rozpoczęto w Polsce w połowie lat 80. W ostatnich latach obserwuje się systematyczny wzrost powierzchni uprawy tego zboża. Według danych z 2011 roku pszenżyto ma znaczący udział w strukturze zasiewów w naszym kraju. Pod uprawę pszenżyta przeznaczono ogółem 2 mln 675 tys. ha, a uzyskany plon wyniósł 7 mln 798 tys. ton. Najwyższe plony odnotowano dla pszenżyta ozimego (przekraczające 3,34 t/ha). Obecnie w krajowym rejestrze odmian znajduje się 29 odmian pszenżyta ozimego oraz 11 odmian pszenżyta jarego (COBORU 2008), w tym 7 charakteryzujących się półkarłowym typem wzrostu (Baltiko, Fidelio, Gniewko, Grenado, Magnat, Woltarin, Zorro) – Kaczmarek (2007).

Według danych Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO 2008) w 2008 roku pszenżyto było uprawiane na powierzchni 3 mln 854 tys. ha (w Polsce 1,33 mln ha). Zbiory wynosiły około 14 mln t. Średni plon na świecie wyniósł 3,9 t/ha, w Polsce tylko 3,3 t/ha, Niemczech 5,9 t/ha, Francji 5,3 t/ha (tabela 3).

Tabela 3. Najwięksi producenci pszenżyta

Miejsce	Kraj	Ilość (w tys. ton)
1	Polska	4 459
2	Niemcy	2 381
3	Francja	1 820
4	Białoruś	1 818
5	Węgry	508
6	Australia	503
7	Litwa	311
8	Szwecja	263
9	Czechy	255
10	Austria	250
	świat	14 020

Źródło: FAO (2008 r.).

Spośród państw byłego ZSRR pierwsze miejsce pod względem powierzchni upraw pszenżyta zajmuje Białoruś (więcej niż 350 tys. ha lub 15–17% ogólnej powierzchni upraw).

W Rosji w 2005 roku pszenżyto zajmowało około 350 tys. ha powierzchni posiewów (w 2002 roku – 150 tys. ha). Wzrost powierzchni uprawnej trwa dalej i można założyć, że w najbliższych latach pszenżyto zajmie 500–600 tys. ha (Grabowiec 2006). Według Łopaciuka (2012) w Polsce nie wykorzystuje się pszenżyta na cele konsumpcyjne. W celach przemysłowych w 2012 roku zużyto 255 tys. t, w hodowli zwierząt 3 mln 700 tys. t, a na wysiew przeznaczono 263 tys. t. W Kanadzie i USA pszenżyto jest wykorzystywane głównie jako składnik pasz i w niewielkim stopniu jako składnik żywności takiej jak chleb, biszkopty, ciasta (McKevith 2004).

Przydatność technologiczną pszenżyta może ograniczać wysoka aktywność  $\alpha$ -amylazy oraz duża zawartość popiołu (wyciąg mąki) – Stallknecht i in. (1996). Według Hansena (2012) łatwość uprawy, wysoka wydajność i dobre właściwości odżywcze mogą sugerować zastosowanie pszenżyta w walce z głodem. Innym wykorzystaniem pszenżyta może być brodawnictwo, gdzie może zastąpić pszenicę ze względów ekonomicznych (Glatthar i in. 2002, Glatthar i in. 2005). Ze względu na wysokie koszty produkcji alkoholu etylowego z pszenicy i żyta pszenżyto zaczyna być wykorzystywane również do produkcji tego wyrobu (Wanga i in. 1999). Badania właściwości pszenżyta podczas przemiału i wypieku wykazują, że zawartość glutenu jest niska, jest on słaby, co w połączeniu z wysoką aktywnością  $\alpha$ -amylazy, daje gorsze właściwości wypiekowe mąki (Macri i in. 1986, Amaya i Peña 1991). Dlatego wiele prac wskazuje na konieczność mieszania mąki pszenżytniej z pszenną. Poprawia to oczywiście właściwości reologiczne ciasta i jakość wyrobu końcowego kosztem właściwości dietetycznych czystej mąki pszenżytniej. Głównym nieskrobiowym polisacharydem (NSP) oraz składnikiem ścian komórkowych bielma pszenżyta są pentozany z pewnymi ilościami  $\beta$ -glukanów, podobnie jak w pszenicy i ryżu (Pettersson i Aman 1988, Flores i in. 1994). Chleb i krakersy pszenżytnie były dostępne już w 1980 roku dla kanadyjskich konsumentów dzięki programom marketingowym ziarna (Doxastakis i in. 2002). Dane wskazują, że chociaż pszenżyto wartością odżywczą przewyższa pszenicę, to rzadziej jest stosowane komercyjnie, gdyż zawiera więcej popiołu, daje niższe plony, sprawia trudności przemiałowe, a chleb z niego otrzymany ma gorszą objętość i teksturę (Lorenz 1982). W porównaniu z pszenicą zwyczajną pszenżyto ma niższą wydajność i efektywną lepkość glutenu, a więc gorszą jakość wypiekową (Peña i Ballance 1987). Potencjalne wykorzystanie mąki pszenżyta w mieszankach z mąką pszenną może być bardziej obiecujące. Wykazano, że dodanie do 30% pszenżyta do mąki chlebowej przynosi wymierne korzyści bez względu na gatunek chleba (Unrau i Jenkins 1964, Rooney i in. 1969). Beaux i Martin (1985) uważają, że w produkcji pieczywa może być wykorzystywany wyższy udział mąki pszenżytniej. Ostatnie badania, które przeprowadzili Peña i Balance (1987), wskazują, że pszenżyto jako maksymalnie 50-procentowy dodatek do mąki pszennej daje pieczywo o jakości podobnej do pieczywa wyprodukowanego tylko z mąki pszennej. Jonnala i in. (2010) potwierdzają przydatność pszenżyta w diecie człowieka. Potwierdzają również jego bardzo skromny udział w ogólnym rynku żywności. Uważają, że pszenżytnie produkty uboczne, takie jak otręby, mogą służyć jako źródło cennych związków fenolowych oraz jako żywność nutraceutyczna. Brak jest jednak informacji na temat tych frakcji pszenżyta. Cytowani autorzy są przekonani o konieczności badań funkcjonalnych cech otrąb pszenżyta w celu oceny potencjalnych wartości zdrowotnych tej wyjątkowej rośliny. Niewiele prac wskazuje na wartość odżywczą pszenżyta,

a prawie nie ma dostępnych danych na temat kompozycji kwasów fenolowych w pszenżycie i produktach pszenżytnich (Saini i Henry 1989, Weidner i in. 1999, Salmon i in. 2008, Jonnala i in. 2010). Amarowicz i in. (2002) potwierdzają walory pszenżyta jako cennego źródła związków fenolowych, w tym kwasów fenolowych, proantocyjanidyn fenolowych, skondensowanych tanin, lignanów i katechin obecnych głównie w otrębach. Potwierdzają to również inni badacze (McCallum i Walker 1990, Mazza i Miniati 1993, Oomah i Mazza 1999, Zhou i in. 2005, Naczek i Shahidi 2006). Badania wskazują, że diety bogate w związki fenolowe mają wysoką aktywność przeciwutleniającą (Fukumoto i Mazza 2000, Hosseinian i in. 2006, Liyana-Pathirana i Shahidi 2006, Madhujith i in. 2006, Michalska i in. 2007b), co może potwierdzić zalety zdrowotne pszenżyta (Handelman i in. 1999, Mazza i Kay 2008). W zbożach dominującym kwasem fenolowym jest kwas ferulowy, który stanowi do 90% całkowitych polifenoli (Andreasen i in. 2000, Adom i in. 2003, Beta i in. 2005, Kim i in. 2006, Liyana-Pathirana i Shahidi 2006, Madhujith i in. 2006). Występują również inne kwasy fenolowe, w tym: wanilinowy, syringinowy, chlorogenowy, p-kumarowy, m-kumarowy i OH-cynamonowy (Shahidi i Naczek, 2004, Kim i in. 2006, Naczek i Shahidi 2006, Zhao i Moghadasian 2008). W ziarnach zbóż kwas ferulowy służy jako pomost między ligninami i polisacharydami (arabanoksylanami) przez wiązania eterowe i estrowe (Izydorczyk i Biliaderis 1995, Buranov i Mazza 2008), natomiast w mostkach kwasu kumarowego tylko przez wiązania estrowe. Hydroliza zasadowa (np. 2M NaOH) jest szeroko stosowana w celu uwolnienia wiązań kwasowych i eterowych kwasu hydroksycynamonowego (kwasu p-kumarowego i ferulowego) z kompleksów fenolowo-lignino-węglowodanowych ścian komórkowych (Kim i in. 2006, Zhao i Moghadasian 2008).

## 1.8. Probiotyki

Słowo „probiotyk” (*pro bios*) pochodzi z języka greckiego i znaczy „dla życia”. Probiotyki są specyficznymi szczepami mikroorganizmów, które podawane człowiekowi, wywierają na jego organizm korzystny wpływ. Wynika on głównie z zapewnienia właściwej równowagi mikroflory zasiedlającej przewód pokarmowy człowieka.

Zgodnie z ustaleniami przyjętymi przez Światową Organizację FAO/WHO jedynie szczepy bakterii, dla których w badaniach klinicznych udowodniono korzystne efekty dla zdrowia, mogą być określane jako probiotyczne. Człowiek może spożywać te bakterie w postaci preparatów farmaceutycznych; najczęściej są to liofilizaty bakterii o gęstości  $10^{10}$  komórek/g lub żywność suplementowana tymi bakteriami. Pożądane jest, aby liczba żywych bakterii w 1 g produktu spożywczego wynosiła około  $10^8$  komórek. Jego stugramowa porcja zapewni wtedy ilość bakterii wystarczającą do wywołania korzystnych efektów zdrowotnych. Bakterie probiotyczne należą do grupy tzw. bakterii fermentacji mlekowej (tabela 4).

Przekonanie o korzystnym wpływie bakterii fermentacji mlekowej na zdrowie człowieka sięga czasów starożytnych. Pliniusz Starszy zalecał spożywanie fermentowanych napojów z mleka w dolegliwościach żołądkowo-jelitowych. Stosowane je również w skażeniach lub oparzeniach skóry. Dowody naukowe korzystnych oddziaływań bakterii mlekowych zna-



laż jednak dopiero na początku XX wieku rosyjski naukowiec, laureat Nagrody Nobla (1908), Ilija Miecznikow. Uważał, że obecność, w odpowiednio wysokiej liczbie, bakterii mlekowych w przewodzie pokarmowym korzystnie działa na zdrowie gospodarza. Od tamtego czasu obserwuje się rozwój badań charakteryzujących mikroflorę jelitową człowieka i rolę poszczególnych gatunków w niej występujących, a także poszukiwanie odpowiednich szczepów bakterii mlekowych wywierających korzystny wpływ na zdrowie człowieka.

Tabela 4. Gatunki mikroorganizmów najczęściej wykorzystywane w preparatach i produktach probiotycznych

Rodzaj <i>Lactobacillus</i>	Rodzaj <i>Bifidobacterium</i>	Inne bakterie fermentacji mlekowej	Inne mikroorganizmy
<i>L. acidophilus</i>	<i>B. adolescentis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> <sup>b</sup>	<i>Bacillus cereus</i> <sup>b</sup>
<i>L. amylovorus</i>	<i>B. animalis</i>	<i>Enterococcus faecium</i> <sup>b</sup>	<i>Escherichia coli</i> Nissle 1917 <sup>a</sup>
<i>L. casei</i>	<i>B. bifidum</i>	<i>Sporobolomyces inulinus</i> <sup>b</sup>	<i>Propionbacterium freudenreichii</i> <sup>b</sup>
<i>L. arispatus</i>	<i>B. breve</i>		<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ( <i>boulardii</i> ) <sup>a</sup>
<i>L. gallinarium</i> <sup>b</sup>	<i>B. longum</i>		
<i>L. gasseri</i>			
<i>L. johnsonii</i>			
<i>L. paracasei</i>			
<i>L. plantarum</i>			
<i>L. reuteri</i>			
<i>L. rhamnosus</i>			

<sup>a</sup> Głównie preparaty farmaceutyczne, <sup>b</sup> głównie preparaty dla zwierząt.

Źródło: Libudzisz (2010).

Do bakterii mlekowych zaliczamy Gram-dodatnie ziarniaki i pałeczki z rodzaju: *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Tetragenococcus*, *Vafococcus* i *Weissella*. Bakterie fermentacji mlekowej stanowią więc niejednorodną diagnostycznie grupę, której wspólną cechą jest zdolność do beztlenowej fermentacji sacharydów i produkcji kwasu mlekowego. Bakterie te wykorzystują zarówno cukry proste, disacharydy, jak i niektóre oligo- i polisacharydy, produkując w procesie fermentacji 0,6–3% kwasu mlekowego. Zależnie od gatunku i warunków hodowli wytwarzają kwas L(+) lub D(-) mlekowy. Bakterie mlekowe tolerują jednocześnie niskie pH (około 3–4 jednostki). Optymalne temperatury ich wzrostu wynoszą 20–28°C (gatunki mezofilne) i 37–45°C (gatunki termofilne). Są to bakterie pozbawione ruchu, niewytwarzające katalazy, które charakteryzują się metabolitem beztlenowym lub należą do względnych beztlenowców (Diowks 2003). Naturalnym środowiskiem występowania bakterii mlekowych, poza przewodem pokarmowym człowieka i zwierząt, są błony śluzowe jamy ustnej i dróg rodnych oraz mleko, a także rośliny (Gawęcki i Libudzisz 2010).

Biotechnolodzy dzielą bakterie kwasu mlekowego – w zależności od sposobu rozkładania glukozy – na dwie podstawowe grupy:

- homofermentatywne, których metabolity zawierają więcej niż 85% kwasu mlekowego;
- heterofermentatywne, które wytwarzają tyle samo kwasu mlekowego co octowego, oprócz innych metabolitów.

Do homofermentatywnych bakterii należą: *Lactobacillus delbruecki*, *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus acidophilus*. Bakterie homofermentatywne korzystnie wpływają na porowatość mięksizu i jego elastyczność. Sposród bakterii heterofermentatywnych najliczniej występują: *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermentum* i *Lactobacillus sanfranciscensis*.

Do podstawowych funkcji bakterii mlekowych homofermentatywnych należą:

- fermentacja mlekowa,
- tworzenie ciasta zdolnego do rozrostu,
- zakwaszenie ciasta,
- rozwój substancji zapachowych,
- łagodzenie i harmonizowanie smaku.

Natomiast do podstawowych funkcji bakterii heterofermentatywnych należą:

- fermentacja mlekowo-octowa,
- zakwaszanie ciasta,
- tworzenie ciasta zdolnego do rozrostu,
- rozwój substancji zapachowych,
- zaostrzanie smaku kwaśnego.

Bakterie mlekowe wytwarzają, oprócz kwasu mlekowego, wiele innych związków – kwas octowy, etanol, ditlenek węgla, aldehyd dwuacetylowy oraz aldehyd octowy – wpływających w znaczący sposób na smakowitość chleba (Piesiewicz 2005).

Kwas mlekowy w środowisku uwodnionym, jakie stanowi ciasto, występuje w dwóch postaciach: zdysocjowanej i niezdisocjowanej. Forma zdysocjowana zakwasza środowisko ciasta, obniżając pH i zwiększając kwasowość miareczkową. Obydwa te parametry wpływają na zdolność hydratacji koloidalnych układów białek i pentozanów oraz na aktywność enzymów proteaz i amylaz, nieodzownych dla dostarczania podstawowych składników odżywczych drobnoustrojom i wytworzenia bukietu smakowo-aromatycznego ciasta. Niezdysocjowana forma kwasu silnie oddziałuje na mikroflorę środowiska, czyniąc procesy mikrobiologiczne bardziej uporządkowanymi i ograniczając niebezpieczeństwo rozwoju niepożądanego mikroflory. Działanie kwasu mlekowego na szkodliwą mikroflorę polega na neutralizacji potencjału elektrochemicznego membran komórkowych, denaturacji wewnątrzkomórkowych białek i obniżaniu pH treści komórki. Stwierdzono ponadto synergistyczne oddziaływanie między kwasem mlekowym i octowym. Kwas mlekowy spełnia ponadto w organizmie człowieka wiele korzystnych funkcji. Główne z nich to przyspieszanie trawienia białek mleka w przewodzie pokarmowym po strąceniu ich w postaci skrzepu, tzw. sernika, zwiększanie stopnia wchłaniania wapnia, żelaza, fosforu i innych pierwiastków, pobudzanie wydzielania soku żołądkowego oraz przyspieszanie perystaltyki jelit.

Modyfikację (wzbogacenie) mikroflory jelitowej w bakterie korzystnie oddziałujące na organizm człowieka prowadzi się przez stosowanie odpowiednich preparatów lub produktów żywnościowych zawierających żywe mikroorganizmy o właściwościach probiotycznych, najczęściej są to bakterie fermentacji mlekowej należące do rodzaju *Lactobacillus* lub *Bifidobacterium*.

Bakterie *Lactobacillus*, często nazywane pałeczkami fermentacji mlekowej, mają kształt regularnej pałeczki o szerokości 1–1,5  $\mu\text{m}$  i długości 5–10  $\mu\text{m}$ . Występują pospolicie

w mleku, na roślinach oraz na błonach śluzowych ludzi i zwierząt. Są bardzo często stosowane w produkcji żywności fermentowanej. Do rodzaju *Lactobacillus* należy około 100 gatunków i 20 podgatunków, z których *Lactobacillus acidophilus*, *L. planetarium* i *L. casei* są charakterystyczne dla jelit i dlatego stanowią doskonałe kultury proponowane do składu preparatów i produktów probiotycznych.

Bakterie *Bifidobacterium*, potocznie nazywane bifidobakteriami, też są pałeczkami, lecz ich kształt jest nieregularny, często tworzą komórki rozdęte lub rozgałęzione. Rodzaj ten liczy około 30 gatunków i 6 podgatunków, pogrupowanych według cech metabolicznych i oryginalności ekologicznej. Są to mikroorganizmy występujące głównie w przewodzie pokarmowym człowieka i zwierząt. W organizmach ludzi bytuje naturalnie 14 gatunków tych pałeczek. Bifidobakterie stanowią główną mikroflorę jelitową niemowląt karmionych tylko mlekiem matki i znaczną część drobnoustrojów zasiedlających jelito grube ludzi dorosłych (Gawęcki i Libudzisz 2010).

Bakterie kwasu mlekowego są stosowane w piekarnictwie jako tzw. kultury starterowe. Piekarskie kultury starterowe są definiowane jako wyselekcjonowane na podstawie specyficznych właściwości bakterie kwasu mlekowego, należące do rodzaju *Lactobacillus*. Mogą one stanowić monokulturę lub kulturę kilku gatunków bakterii mlekowych z drożdżami lub bez drożdży (Staszewska i Piesiewicz 2005a).

Główną przyczyną stosowania na szeroką skalę czystych kultur starterowych jest to, że umożliwiają produkcję pieczywa o najwyższej jakości, zgodnej ze współczesnymi oczekiwaniami konsumentów, tj. o wysokich walorach smakowo-zapachowych i z dużą zawartością substancji prozdrowotnych. Dodatkowo wykluczają potrzebę dodawania substancji konserwujących. Startery przynoszą jednocześnie wiele korzyści technologicznych, zapewniając stały i przewidywalny przebieg procesów fermentacyjnych przy stosunkowo niskich kosztach produkcyjnych.

Korzyści technologiczne:

- szybkie zapoczątkowanie wymaganego kierunku procesu fermentacyjnego i niedopuszczenie do rozwoju bakterii gnilnych;
- nadawanie ciastu odpowiednich do wypieku właściwości biotechnologicznych pod wpływem powstających kwasów: octowego i mlekowego;
- zapewnienie pewności i niezawodności procesu fermentacji;
- powtarzalny i szybki przebieg fermentacji ciasta.

Korzyści ekonomiczne i organizacyjne:

- skracanie i upraszczanie produkcji chleba w porównaniu z tradycyjnymi, wielofazowymi metodami prowadzenia ciasta;
- szybkie przyuczanie nowych pracowników do sporządzania ciast prawidłowo ukwaszonych;
- bardziej racjonalnie wykorzystywanie czasu pracy piekarzy;
- wyższy standard higieniczny w piekarni.

Podniesienie jakości:

- uzyskanie dużego stężenia produktów fermentacji, pożądanego z punktu widzenia efektów aromatycznych i smakowych, a jednocześnie uniknięcie powstawania ubocznych produktów fermentacji pogarszających smak;

– otrzymywanie chleba o atrakcyjnym smaku i aromacie;  
– wydłużanie terminu przydatności konsumpcyjnej pieczywa przez opóźnienie czerstwienia i zmniejszenie ryzyka rozwoju w chlebie szkodliwej mikroflory (szczególnie pleśni i pałeczek ziemniaczanych).

Zalety prozdrowotne:

– rozkład ewentualnych mikotoksyn pochodzących z mąki zanieczyszczonej pleśniami;  
– redukcja kwasu fitynowego;  
– redukcja poziomu enzymów odpowiedzialnych za przemianę związków prokarci-nogennych w karcinogenne (rakotwórcze);  
– stymulacja systemu immunologicznego (ochronnego) człowieka (Piesiewicz 2005).

Bakterie kwasu mlekowego mają zdolność do wytwarzania bakteriocyn. Bakteriocyny stanowią interesującą alternatywę dla chemicznych środków konserwujących. Uniemożliwiają rozwój pewnych mikroorganizmów, w tym patogennych, nie powodując przy tym toksycznych efektów ubocznych. Ponieważ naturalnie występują w niektórych produktach żywnościowych, od dawna nieświadomie były spożywane przez ludzi. Bakteriocyny to związki o charakterze białkowym, wytwarzane i wydzielane poza komórkę przez liczne gatunki bakterii, wykazujące działanie antagonistycznie w stosunku do innych mikroorganizmów, zwykle blisko spokrewnionych. Drobnoustroje produkujące bakteriocyny to zarówno bakterie Gram-ujemne, jak i Gram-dodatnie, a za przykład mogą posłużyć rodzaje: *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Bacillus*, a także *Pediococcus*. Zdolność bakterii do wytwarzania bakteriocyn jest kodowana w DNA plazmidowym lub chromosomalnym. Genowi odpowiedzialnemu za syntezę danej bakteriocyny towarzyszy gen oporności na własną bakteriocynę. Ze względu na pełnioną funkcję, a także podobieństwo strukturalne bakteriocyny należą do grupy związków antymikrobiologicznych, która obejmuje m.in.: defensyny (produkowane przez ssaki), tioniny (wytwarzane przez rośliny), magaininy (wydzielane przez żaby) czy melitynę (obecną w jadzie pszczoł). Według wielu autorów synteza, a także mechanizm działania bakteriocyn odróżniają tę grupę substancji przeciwdrobnoustrojowych od klasycznych antybiotyków o zastosowaniu klinicznym. Bakteriocyny są peptydami lub białkami syntetyzowanymi rybosomalnie, natomiast antybiotyki lecznicze to produkty wtórnego metabolizmu niektórych mikroorganizmów (pleśni, promieniowców, bakterii). Bakteriocyny przeważnie charakteryzują się wąskim spektrum aktywności, natomiast antybiotyki – szerokim. Ponadto nie zostało potwierdzone toksyczne oddziaływanie bakteriocyn na organizmy wyższe, natomiast w przypadku antybiotyków udowodniono, że mogą wywoływać niepożądane skutki uboczne. Występują także pewne różnice w samym mechanizmie działania obu grup substancji antymikrobiologicznych.

Bakteriocyny to grupa związków zróżnicowanych pod względem właściwości fizycznych, biochemicznych, aktywności biologicznej, a także mechanizmu działania. Bakteriocyny produkowane przez bakterie Gram-dodatnie zostały podzielone na dwie duże klasy. Pierwszą grupę stanowią lantibiotyki, których nazwa jest skrótem angielskiego wyrażenia *lanthionine containing antibiotics*, oznaczającego antybiotyki zawierające lantioninę. Termin ten odnosi się do unikatowej budowy cząsteczkowej, w której występują nietypowe aminokwasy, takie jak lantionina, 3-metylolantionina (zawierają one ugrupowanie tioeterowe), a także dehydro-

alanina czy kwas dehydroaminobutyłowy. Wspomniane aminokwasy powstają w wyniku posttranslacyjnych modyfikacji łańcuchów bocznych aminokwasów w prekursorowych peptydach syntetyzowanych rybosomalnie. Prawdopodobnie zwiększają one stabilność strukturalną cząsteczek bakteriocyn w wysokich temperaturach oraz przy niskim pH. Mogą również wpływać na aktywność przeciwdrobnoustrojową, a także na odporność na enzymy proteolityczne. Lantybiotyki ze względu na różnice w strukturze i mechanizmie działania zostały podzielone na dwie podklasy. Lantybiotyki typu A to wydłużone, elastyczne cząsteczki amfipatyczne wykazujące działanie bakteriobójcze przez tworzenie porów w błonie cytoplazmatycznej wrażliwych komórek. Natomiast lantybiotyki typu B to sztywne cząsteczki globularne o zróżnicowanym mechanizmie działania, najczęściej polegającym na zakłócaniu biosyntezy ściany komórkowej. Do grupy lantybiotyków należy najlepiej poznana bakteriocyna – nizyna, produkowana przez *Lactococcus lactis*. Wykazuje ona aktywność przeciwdrobnoustrojową w stosunku do bakterii Gram-dodatnich, m.in. *Staphylococcus aureus* i *Listeria monocytogenes*, a także zapobiega rozwojowi przetrwalników i hamuje rozwój komórek wegetatywnych z rodzaju *Bacillus* oraz *Clostridium*.

Druga klasa bakteriocyn produkowanych przez bakterie Gram-dodatnie obejmuje cząsteczki nielantybiotykowe. Większość z nich to termostabilne białka o masie cząsteczkowej poniżej 10 kDa, mające charakter kationowy. Ponieważ jest to zróżnicowana grupa związków, wyróżniono w niej podklasy (m.in. bakteriocyny pediocynopodobne, dwupeptydowe, sec-zależne). Zakres aktywności bakteriocyn należących do drugiej klasy obejmuje głównie bakterie fermentacji mlekowej oraz bakterie należące do rodzaju *Listeria*, *Enterococcus* i *Clostridium*. Przedstawicielami tej grupy bakteriocyn są pediocyna AcH, leukocyna UAL 187, laktokokcyny, enterocyna P czy diwercyna V41. Niektórzy autorzy oprócz wyżej wymienionych grup bakteriocyn wyróżniają jeszcze jedną lub dwie dodatkowe klasy. Zgodnie z taką systematyką do trzeciej klasy są zaliczane bakteriocyny charakteryzujące się wysoką masą cząsteczkową i produkowane głównie przez bakterie z rodzaju *Lactobacillus* oraz *Enterococcus*. W przeciwieństwie do bakteriocyn klasy pierwszej oraz drugiej nie działają one na komórki wrażliwe przez zakłócenie integralności błony cytoplazmatycznej, ale przez ich inaktywację pod wpływem temperatury (60–100°C przez 10–15 min). Za przykład bakteriocyny wysokocząsteczkowej może posłużyć helwetycyna J produkowana przez *Lactobacillus helveticus* 481 oraz kaseicyna 80 wytwarzana przez *Lactobacillus casei* B80. W skład kolejnej grupy bakteriocyn (czwartej klasy) wchodzi te substancje, które dla pełnej aktywności antymikrobiologicznej wymagają obecności komponenty lipidowej lub węglowodanowej w cząsteczce. Przykładem mogą być tutaj glikoproteina – leukocyna S, której producentem są bakterie z gatunku *Leuconostoc paramesenteroides*, oraz lipoproteina – mesenterocyna 52 wytwarzana przez *Leuconostoc mesenteroides*.

Bakteriocyny wykazują wobec szczepów bakterii wrażliwych działanie bakteriobójcze lub bakteriostatyczne. Sposób oddziaływania bakteriocyn na wrażliwe mikroorganizmy jest zróżnicowany i polega przede wszystkim na tworzeniu porów w błonie cytoplazmatycznej komórek lub zakłóceniu biosyntezy ściany komórkowej. Podstawowym mechanizmem jest formowanie przejściowych kompleksów (mogą się składać z kilku cząsteczek bakteriocyn, powstają w wyniku oddziaływań fragmentów peptydów z lipidami znajdujących się w błonie)

i tworzenie kanałów w błonie. Niektóre bakteriocynty wymagają specyficznych receptorów, w przypadku innych nie jest to konieczne. Wytworzenie porów prowadzi do biernego wypływu jonów, aminokwasów i cząsteczek ATP. Następuje zaburzenie potencjału membranowego oraz gradientu pH. Niedobór jonów oraz kofaktorów, a także niski poziom ATP w komórce hamują syntezę makrocząsteczek, takich jak DNA, RNA, białka i polisacharydy. Niemożliwy staje się również aktywny transport składników odżywczych, przez co wzrost i rozwój komórek zostają zahamowane. Oddziaływanie bakteriocynt na komórki wrażliwe może również polegać na uwalnianiu enzymów odpowiedzialnych za autolizę komórki. Następuje ono w wyniku interakcji bakteriocynt z kwasami wchodzącymi w skład ściany komórkowej (kwasem tejchojowym czy lipotejchojowym), z którymi enzymy autolityczne są związane oddziaływaniami elektrostatycznymi, a to w efekcie prowadzi do lizy komórki. Inny mechanizm działania bakteriocynt (w tym np. mersacydyny czy aktagardyny) polega na hamowaniu biosyntezy ściany komórkowej, a dokładnie jej składnika, peptydoglikanu, na poziomie transglikozylacji.

Inhibicja wynika z oddziaływania lantynbiotyku ze związanym z błoną prekursorem peptydoglikanu-undekaprenylo-pirofosforylo-MurNAc-(pentapeptydu)-GlcNAc (lipidem II). W tym przypadku synteza DNA, RNA czy białek może przebiegać bez zakłóceń. Nizyna jest bakteriocyną, która w swoim działaniu łączy wyżej opisane mechanizmy, jej antagonistyczne oddziaływanie wobec komórek wrażliwych polega na permeabilizacji błony komórkowej, hamowaniu syntezy ściany komórkowej, a także uwolnieniu i aktywacji enzymów autolitycznych.

Przyjmuje się, że idealna substancja antymikrobiologiczna o potencjalnym zastosowaniu w konserwacji żywności powinna się charakteryzować szerokim spektrum działania (obejmującym również mikroorganizmy patogenne) i takimi właściwościami fizykochemicznymi, jak odporność na wysokie temperatury oraz zmiany pH. Korzystną cechą jest również niska masa cząsteczkowa, która ułatwia dyfuzję w produktach półpłynnych. Powyższe kryteria doskonale spełniają niektóre z bakteriocynt, w tym najlepiej poznana nizyna. Po raz pierwszy została ona opisana w 1928 roku i jest jedyną bakteriocyną produkowaną w skali przemysłowej, szeroko stosowaną jako naturalny oraz bezpieczny konserwant żywności już od 30 lat. Bakteriocynta ta, wytwarzana przez *Lactococcus lactis*, zyskała status GRAS (ang. *generally recognised as safe*) i jest dopuszczona do użytku w ponad 40 krajach. Nizyna może być uważana za substancję pochodzenia naturalnego, ponieważ jest produkowana przez szczepy bakteryjne izolowane m.in. z mleka i produktów warzywnych. Bakteriocynta ta nie hamuje rozwoju bakterii Gram-ujemnych, drożdży i pleśni, natomiast wykazuje działanie antagonistyczne w stosunku do szeregu szczepów bakterii z rodzajów *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Listeria*, *Lactococcus* i *Lactobacillus*. Jest łatwo trawiona przez trypsynę i dlatego nietoksyczna w stosunku do organizmów wyższych, a zatem bezpieczna także dla zdrowia człowieka. Nie istnieją żadne potwierdzone doniesienia o mutacjach bakterii opornych na nizynę, wykazujących oporność krzyżową na antybiotyki lecznicze. Wynika to prawdopodobnie z różnic w mechanizmie działania antybiotyków o zastosowaniu klinicznym oraz nizyny, dlatego odporność na tę bakteriocynę raczej nie stanowi problemu przy jej wykorzystaniu w roli biokonserwanta. W większości krajów nie ustalono maksymalnego poziomu dodatku nizyny do żywności. Stabilność nizyny w produktach żywnościowych w trakcie ich

przechowywania zależy od temperatury inkubacji, czasu przechowywania, a także pH. Rozpuszczalność bakteriocyny jest zwiększona w środowisku kwaśnym i spada wraz ze wzrostem pH. Nizyna jest powszechnie stosowana w przemyśle spożywczym jako naturalny konserwant (E 234) produktów żywnościowych, tj. mleka spożywczego, napojów mlecznych, serów, produktów mięsnych i rybnych. Obecnie podejmuje się próby wykorzystania tej bakteriocyny w leczeniu owrzodzeń układu pokarmowego wywołanych przez *Helicobacter pylori* (Wojtatowicz i Chrzanowska 1998, Błaszczuk 2008).

W piekarnictwie bakteriocyny są stosowane w celu przedłużania trwałości i przydatności konsumpcyjnej wyrobów piekarskich przez hamowanie rozwoju zakażającej mikroflory. Stwierdzenie aktywności antagonistycznej wobec zakażającej mikroflory u szczepów bakterii mlekowych pozwala na komponowanie piekarskich kultur starterowych o wysokiej skuteczności działania w charakterze naturalnych biokonserwantów. Możliwość eliminacji mikrobiologicznych zakażeń na drodze naturalnej fermentacji zakwasów pozwala ograniczyć (lub nawet uniknąć) stosowanie chemicznych dodatków konserwujących pieczywo o wydłużonej trwałości (Diowks 2004).

## **1.9. Aktywność przeciwutleniająca**

### **1.9.1. Wiadomości ogólne**

Ocena stanu zdrowia ludzi w Polsce wskazuje na występowanie znaczącej liczby chorób związanych z nieodpowiednim stylem życia, a przede wszystkim z nieodpowiednim sposobem odżywiania. Coraz więcej uwagi skupia się na propagowaniu modelu żywienia, w którym diety, oprócz składników o podstawowych funkcjach żywieniowych, zawierają związki bioaktywne powszechnie występujące w świecie roślinnym (Kunachowicz i Nadolna 2002, Michalska i in. 2007a). Zaobserwowano, że dostarczenie w diecie przeciwutleniaczy zwiększa potencjał antyoksydacyjny ustroju i zapewnia dodatkową obronę przed szokiem tlenowym, dzięki czemu zmniejsza się ilość uszkodzeń oksydacyjnych na poziomie komórki. Ma to szczególne znaczenie w warunkach patologicznych, kiedy dochodzi do wzmożonej syntezy wolnych rodników (Sembratowicz i Czech 2005).

### **1.9.2. Tlen – podstawowy pierwiastek życia**

Tlen jest pierwiastkiem niezbędnym do funkcjonowania wszystkich roślin i zwierząt. Umożliwia uwalnianie energii zawartej w pokarmie, nieodzownej we wszystkich procesach życiowych. Jest również pierwiastkiem aktywnym chemicznie i wysoce niebezpiecznym – w zwykłych reakcjach biochemicznych może stać się niestabilny, co grozi wystąpieniem reakcji utleniania innych cząsteczek (Grajek 2005). Wynikiem tego jest uszkodzenie komórek, które może stać się początkiem nowotworu, zapalenia, uszkodzenia naczyń krwionośnych, udaru mózgu, chorób reumatycznych, a nawet choroby Parkinsona. Proces starzenia się może być przyspieszony przez reakcje utleniania cząsteczek. Około 2% życiodajnego tlenu docierającego do tkanek i komórek zamienia się w niebezpieczne związki określane jako nadtlutki

i wolne rodniki. Są to związki wysoko reaktywne, toksyczne i niestabilne, zdolne utlenić wiele cennych substancji krążących w naszej krwi (Dąbrowski 2008).

Całkowita redukcja cząsteczki tlenu oznacza przyłączenie do niej czterech elektronów i protonów, w wyniku czego powstają dwie cząsteczki wody. Cząsteczka tlenu nie zawsze jednak ulega pełnej czteroelektronowej redukcji, tworząc reaktywne formy tlenu (RFT), zwane popularnie wolnymi rodnikami tlenowymi. Może to być tlen singletowy, ozon, rodnik wodoronadtlenkowy, anionorodnik ponadtlenkowy, nadtlenek wodoru, rodnik wodorotlenowy i inne, takie jak tlenek czy ditlenek azotu. Ogólne stężenie RFT i szybkość reakcji RFT, uszkadzających składniki komórki, zależą od poziomu równowagi pomiędzy szybkością wytwarzania wolnych rodników a stężeniami antyoksydantów niskocząsteczkowych (jak glutation) czy aktywnością enzymów ochronnych (jak dysmutaza ponadtlenkowa). Zaburzenie tej homeostazy, prowadzące do podwyższenia stacjonarnych stężeń RFT, określa się mianem stresu oksydacyjnego (Wroczyński 2008).

### 1.9.3. Szok tlenowy

W normalnych warunkach fizjologicznych organizmy aerobowe wykorzystują około 98% tlenu komórkowego ( $O_2$ ) w przemianach mitochondrialnych (końcowy cytochrom  $a_3$  łańcucha oddechowego). Pozostały tlen (1–2%) nie jest konsumowany przez układ cytochromowy, lecz zredukowany do jedno- lub dwuwartościowego anionorodnika ponadtlenkowego  $O_2^-$  lub do nadtlenku wodoru, zaliczanego do grupy reaktywnych form tlenu RFT/ROS (ang. *reactive oxygen species*, ROS). Szok tlenowy powstaje w wyniku zachwiania równowagi pomiędzy produkcją reaktywnych form tlenu RFT/ROS a ich likwidacją w enzymatycznych i nieenzymatycznych reakcjach neutralizacji i zmiatania oraz w wyniku działania antyoksydantów egzogennych, uzyskiwanych np. z pokarmów. Szok tlenowy jest częścią zjawisk patologicznych w przewlekłych schorzeniach neurodegeneracyjnych, takich jak miażdżyca, choroba Parkinsona, choroba Alzheimerera. Stres oksydacyjny potęguje się przy wzmożonym wysiłku fizycznym i przy nadużywaniu leków, podczas rehabilitacji i w okresie starczym (Ball 2001).

### 1.9.4. Nadtlenki i wolne rodniki

Wolne rodniki są bardzo aktywne i przyłączają wolne elektrony, dzięki czemu uzyskują stabilność chemiczną. Zjawisko to nazywa się utlenianiem, czyli oksydacją. Aktywność wolnego rodnika jest krótka, dlatego też szybko powoduje on transformacje tkanek, skutkiem czego dochodzi do uszkodzenia komórek ciała i materiału genetycznego. Przyczyną powstawania wolnych rodników jest stres oksydacyjny, wynikający z trybu życia i wpływu zanieczyszczeń środowiska (np. spaliny samochodowe, zanieczyszczenia przemysłowe, dym tytoniowy itp.). Wolne rodniki powstają w organizmie, ale ważne jest, aby równowaga pomiędzy nimi a antyoksydantami nie została zachwiana. Na przykład podczas wypalenia jednego papierosa powstaje w organizmie około 100 mld wolnych rodników, czyli palacze będą potrzebowali więcej przeciwutleniaczy w swojej codziennej diecie. Uważa się, że nadmiar wolnych rodników przyczynia się do powstawania około 75 różnych chorób i schorzeń. Organizm



ludzki produkuje wolne rodniki nadtlenkowe celowo, w ilościach fizjologicznych, albo w konsekwencji reakcji patologicznych, które zachodzą w takich stanach chorobowych, jak zapalenia i infekcje czy zbyt długo trwający szok tlenowy (Halliwell 1999). Do najgroźniejszych utleniaczy możemy zaliczyć anionorodnik ponadtlenkowy  $O_2^-$  i azotowy  $NO^\bullet$ . W sytuacji nadprodukcji tych związków może dochodzić do ich wzajemnego reagowania i utworzenia krótko żyjącego, lecz reaktywnego nadtlenoazotynu ( $OONO^-$ ). Tlenek azotu ( $NO^\bullet$ ), zaliczany do reaktywnych form azotu RFA/RNS (ang. *reactive nitrogen species*, RNS), jest potencjalnie słabo reaktywnym rodnikiem i w ilościach fizjologicznych spełnia użyteczne funkcje. Niemniej w sytuacjach patologicznych nadprodukcja tlenku azotu może mieć groźne konsekwencje, m.in. z uwagi na niszczące właściwości generowanego nadtlenoazotynu ( $OONO^-$ ). Usuwanie przez dysmutazę ponadtlenkową rodnika tlenowego przebiega wolniej niż tworzenie nadtlenoazotynu, zatem w organizmie jest faworyzowane powstawanie trującego nadtlenoazotynu ( $OONO^-$ ), uważanego za najbardziej toksyczny (Ball 2001). Kolejnym niebezpiecznym rodnikiem jest  $^\bullet OH$ , który powstaje po połączeniu się  $O_2^\bullet$  i  $H_2O_2$  z jonami takich metali, jak żelazo i miedź (Bartosz 1995). Ocenia się, że jego reaktywność jest o kilka rzędów większa niż tlenu atomowego. Zbyt duża ilość tych reaktywnych form może powodować nieodwracalne zmiany w fosfolipidach, białkach, kwasach nukleinowych i cukrach. Oksydacyjne zmiany w DNA mogą powodować mutacje i przyczynić się do powstawania raka. Peroksydacja lipidów prowadzi do tworzenia reaktywnych wolnych rodników lipidowych (LOOH). Skutkiem tego mogą być m.in. uszkodzenia błon komórkowych, w tym również – błon komórek mózgowych (Griotti 2011), a uszkodzenie białek pod wpływem wolnych rodników prowadzi do inaktywacji, termolabilności, obniżenia aktywności enzymów. Gromadzenie się tak uszkodzonych enzymów i innych białek może powodować miażdżycę, gościec, schorzenia neurodegeneracyjne lub przyczynić się do przedwczesnego starzenia komórek (Stadtman 2006).

Liczne badania naukowe z zakresu epidemiologii wykazały, że czynniki żywieniowe odgrywają istotną rolę w zapobieganiu zmianom powodowanym przez działanie reaktywnych form tlenu (RFT) na organizm człowieka (Piątkowska i in. 2010). Dlatego tak bardzo ważne jest uwzględnianie w diecie odpowiedniej ilości warzyw i owoców, które stanowią podstawowe źródło przeciwutleniaczy, wspomagających naturalne mechanizmy ochronne organizmu.

### 1.9.5. Przeciwutleniacze

Przeciwutleniacze obejmują wszystkie rodzaje substancji hamujących reakcje z tlenem lub ozonem bądź działających pośrednio przez wiązanie niektórych prooksydantów. Do przeciwutleniaczy zalicza się zatem również substancje indukujące enzymy o charakterze przeciwutleniającym lub hamujące enzymy katalizujące procesy utleniania (Szajdek i Borowska 2004).

Ze względu na charakter przeciwutleniacze można podzielić na pierwotne i wtórne. Działanie antyoksydacyjne przeciwutleniaczy pierwotnych polega na przerwaniu rodnikowej reakcji łańcuchowej. Cechą charakterystyczną tej grupy związków jest ich efektywność w bardzo małych stężeniach, wynoszących przeciętnie 0,001–0,1%. Większość z nich charak-

teryzuje się optymalnym stężeniem, którego zmiana może skutkować obniżeniem aktywności lub odwróceniem działania na prooksydatywne. Do naturalnych przeciwutleniaczy zalicza się substancje natywne (takie jak tokoferole, kwas nordihydrogwaretowy NDGA, kwas ferulowy i jego pochodne) oraz ekstrakty roślin, warzyw i ziół (takich jak: rozmaryn, tymianek, szalwia, majeranek, oregano, owies, śruta rzepakowa). Spośród syntetycznych antyoksydantów najbardziej rozpowszechnione są: BHT-E321 (di-tert-butylohydroksytoluen), BHA-E320 (mono-tert-butylohydroksyanizol), TBHQ (trzeciorzędowy butylohydrochinon) – Tynek i Hazuka (2004).

Polifenole od wielu lat uznaje się za substancje stanowiące ochronę składników żywności, podatnych na proces utleniania, np. witaminy C, karotenoidów czy też nienasyconych kwasów tłuszczowych. Występują one tylko w świecie roślin i obecne są w różnych ich częściach (owocach, kwiatach, liściach, nasionach, korzeniach, korze i częściach zdrewniałych). Wśród naturalnych polifenoli aktywność przeciwutleniającą wykazują flawonoidy (fenole, izoflawony, flawony, katechiny, flawonony) i fenolokwasy. Flawonoidy i fenolokwasy występują w ziarnach zbóż, nasionach roślin strączkowych i oleistych, ziemniakach, herbacie, kawie i przyprawach roślinnych. Stwierdzono, że synteza tych substancji w komórkach roślinnych zależy od ich naświetlenia (Oszmiański 1995, Piątkowska i in. 2010). Do najpopularniejszej grupy fosforanów inozytolu występujących w zbożach należy kwas fitynowy. Fosforany inozytolu pełnią funkcję przeciwutleniaczy pomocniczych, a ich działanie polega na wiązaniu jonów metali, co zabezpiecza przed ich toksycznym działaniem (Pelig-Ba 2009).

Flawonoidy są to związki zawierające w swojej budowie dwa pierścienie benzenowe, połączone łańcuchem triwęglowym albo heterocyklicznym (C6–C3–C6), tworzące tzw. układ difenylopropanowy. Grupa tych związków jest zróżnicowana pod względem budowy, a co za tym idzie – ma zróżnicowany potencjał oksydoredukcyjny. Należą do nich m.in. flawony i flawonole (katechiny i proantocyjanidyny) – Cook i Samman (1996).

Fenolokwasy i flawonoidy najczęściej występują w formie związanej jako estry lub glikozydy w połączeniu z glukozą. Jednak glikozylacja pierścieni powoduje obniżenie ich aktywności (Yang i in. 2001). Flawonoidy, których źródłem są zboża, wykazują aktywność przeciwutleniającą, porównywalną do potencjału oksydacyjnego kwasów hydroksycynamowych (Rice-Evans i in. 1996).

Grupą fitoestrogenów występujących w ziarnach zbóż są lignany. Fitoestrogeny stanowią dużą grupę związków pochodzenia roślinnego o budowie niesteroidowej, do których zaliczamy m.in. izoflawony i kumestany. W ziarnach zbóż stwierdzono obecność diglukozydu sekoizolarycyrezonolu (SDG) i matairezynolu (MDG). W wyniku hydrolizy jest uwalniany z nich sekoizolarycyzynol (SECO) oraz matairezynol (MAT)

Polifenole mogą oddziaływać jako substancje:

1. redukujące;
2. blokujące wolne rodniki i tworzące kompleksy z metalami katalizującymi reakcje utleniania;
3. zapobiegające reakcjom powodowanym przez pojedynczy aktywny atom tlenu;
4. hamujące aktywność enzymów utleniających, jak np. lipooksygenaz.

Związki polifenolowe łatwo oddają wodór grupy hydroksylowej i ulegają utlenianiu, działając jako przeciwutleniacze. Redukują nadtlenki i wodorotlenki oraz unieczynnają wol-

ne rodniki. Reagując z nimi, przerywają fazę propagacji w reakcji łańcuchowej. Grupy funkcyjne flawonoidów mogą tworzyć kompleksy z metalami ciężkimi i hamować zdolność tych metali do katalizowania reakcji utleniania i tworzenia wolnych rodników. Reagując z jednoatomowym tlenem, unieczynnają go i ograniczają jego możliwości do zapoczątkowania wolnorodnikowych reakcji łańcuchowych (Oszmiański 1995).

#### **1.9.6. Produkty reakcji Maillarda jako antyoksydanty**

Wypiek pieczywa przyczynia się do powstania związków o właściwościach przeciwutleniających, gdy wolna grupa aminowa lizyny, białek lub peptydów reaguje w wielu reakcjach Maillarda z grupą karbonylową cukrów redukujących. Zachodzi to podczas pieczenia, smażenia lub w innego rodzaju ogrzewania produktów spożywczych. Reakcje te są odpowiedzialne za wytworzenie barwy, nadanie smaku oraz zapachu. W wielu przypadkach (np. kawa) smak jest wynikiem reakcji Maillarda i karmelizacji. Proces karmelizacji odbywa się powyżej 120–150°C, natomiast reakcje Maillarda zachodzą już w temperaturze pokojowej. Intensywność przebiegu reakcji Maillarda zależy od zawartości cukrów i aminokwasów w produkcie. Im więcej jest cukrów, tym wolniej przebiega reakcja. Pentozy takie jak ryboza reagują szybciej, najszybciej zaś reagują heksozy (glukoza, fruktoza) i disacharydy (Fennema 2000).

Produktami reakcji Maillarda są zarówno substancje uznawane za kancerogenne i mutagenne, jak i substancje wykazujące właściwości przeciwutleniające i przeciwbakteryjne, mogące wywierać pozytywny wpływ na organizm człowieka, np. melanoidy (Manzocco i in. 2001). Jednym z aspektów charakterystycznych dla tych związków są ich właściwości przeciwutleniające. Interesującym związkiem wchodzącym w skład melanoidyn jest pronylo-L-lizyna, której obecność została zidentyfikowana w chlebie. Największe jej ilości znajdują się w skórce chleba, mniejsze w mięksiszu, natomiast nie stwierdzono jej obecności w mące. Dowodzi to, że ilość powstającej pronylo-L-lizyny jest ściśle związana z udziałem ciepła w procesie pieczenia chleba (Lindenmeier i Hofmann 2004, Ragaee i in. 2006).

Obecnie, dzięki presji konsumentów, przemysł spożywczy i przetwórczy musi spełniać wysokie standardy jakości i zdrowotności produktów spożywczych. Wiele badań naukowych wskazuje, że produkty reakcji Maillarda mogą być źródłem funkcjonalnych składników żywności. Dlatego też badanie produktów tych reakcji staje się ważnym zagadnieniem przy wytwarzaniu żywności funkcjonalnej (Michalska i in. 2007a, Michalska i in. 2008).

#### **1.9.7. Pieczywo jako żywność funkcjonalna**

Rynek polskich wyrobów piekarniczych podąża za światowymi trendami, które zmierzają do produkcji pieczywa o obniżonej kaloryczności przy zachowaniu wysokiej wartości odżywczej. Równocześnie dąży się do poszerzenia asortymentu wyrobów piekarskich o działanie prozdrowotnym i profilaktycznym, wspomagającym leczenie chorób cywilizacyjnych lub pomagającym w ich zapobieganiu (Jędrzejczyk i Hoffmann 2008).

Pieczywo odgrywa podstawową rolę w żywieniu człowieka. Stanowi około 80% przetworów zbożowych spożywanych przez człowieka i jest ważnym źródłem składników energe-

tycznych, budulcowych i regulujących (Świdorski 2003, Świdorski i Waszkiewicz-Robak 2005). W ciągu niemal dwóch dekad spożycie pieczywa w naszym kraju spadło o ponad 40%. W 2011 roku w polskich gospodarstwach domowych roczne spożycie pieczywa w przeliczeniu na jedną osobę wyniosło średnio 54 kg i było o niemal 43 kg niższe niż w 1993 roku. Według Świetlika (2011) największy spadek sprzedaży zanotowano dla tradycyjnego chleba (pieczywa mieszanego). W 2011 roku jego spożycie wyniosło 41,76 kg/os. i było o 47,5% niższe niż 17 lat wcześniej. W tym samym czasie konsumpcja pieczywa pszennego zmalała z 15,12 kg/os. do 11,52 kg/os. Wzrósł jedynie popyt na pieczywo żytnie – z 2,04 kg/os. do 2,76 kg/os. Spożycie pieczywa żytniego zwiększało się tylko do 2007 roku. Obecnie według Łopaciuka (2012) przeciętne miesięczne spożycie pieczywa wynosi 4,46 kg/os. (100%), w tym: pieczywa pszennego 0,93 kg/os. (21%), mieszanego 3,32 kg/os. (74%) i żytniego 0,21 kg/os. (5%).

Moda i zapotrzebowanie na produkty o cechach funkcjonalnych są coraz większe. W celu zwiększenia funkcjonalności pieczywa można stosować kultury starterowe (Zaręba i Ostasiewicz 2009).

Obecnie obowiązująca definicja FAO/WHO klasyfikuje probiotyki jako żywe szczepy ściśle określonych drobnoustrojów, które podawane w odpowiednich ilościach, wywierają korzystny efekt na zdrowie konsumenta. Z definicji wynika, iż zasadniczym elementem powodzenia probiotykoterapii jest wykorzystanie konkretnego, dokładnie zidentyfikowanego szczepu, którego prozdrowotny wpływ został potwierdzony. Kluczem do sukcesu jest ponadto zastosowanie odpowiednio wysokiej dawki probiotyku. Nie ma jednej uniwersalnej liczby bakterii, dającej pożądaną efekt. Zarówno dobór szczepu, jak i jego dawkowanie zależy od typu jednostki chorobowej, której chcemy zapobiegać bądź którą będziemy leczyć. Żywotność szczepów probiotycznych nie zawsze jest koniecznym kryterium. Badania wykazały pozytywne działanie bakterii poddanych radiacji lub samego DNA bakteryjnego. Obecnie uważa się, iż martwe szczepy mogą być wykorzystywane do stymulacji układu odpornościowego oraz łagodzenia objawów nietolerancji laktozy. Uważa się, iż probiotyki wykazują takie same właściwości jak mikroorganizmy jelitowe, dzięki czemu wywierają korzystny wpływ na zdrowie (Cichy i in. 2010).

Poza tym ważne jest, by szczepy probiotyczne spełniały wymagania technologiczne, takie jak: przeżywalność podczas utrwalania kultur starterowych (zamrażanie, liofilizacja) i podczas produkcji. Wielu badaczy uważa jednak, że obecność żywych komórek probiotyków nie jest konieczna, gdyż inaktywowane formy również wykazują pewne właściwości, np. stymulują układ odpornościowy. Dlatego w procesie fermentacji ciasta przed wypiekiem można wykorzystać produkty prozdrowotne oraz metabolity bakterii i komórki bakteryjne, które przetrwały (Zaręba i Ostasiewicz 2009). Według Zaręby i Ostasiewicza (2009) w przemyśle piekarskim można wykorzystywać następujące szczepy probiotyczne:

- *Bif. Animals subsp. lactis* (szczepy: BB 12, FK120, LKM512, DR10, BB 536, SBT 29–28);
- *Lb. rhamnosus* (szczepy: GG, 271, 1091);
- *Lb. Acidophilus* (szczepy: La5, NCFM, CK120);
- *Lb. casei* (szczepy: Shirota, BL23, DN114);
- *Lb. paracasei* (szczep F19);

- *Lb. Plantarum* (szczy: 299v i AT CC8014);
- *Leuconostoc mesenteroides subsp. dextranicus* (szczep M7 25-1);
- *Lactococcus lactis subsp. lactis* (szczep L1A);
- *Pediococcus acidilactici* (szczep CNCM);
- *Propionibacterium freudenreichii subsp. freudenreichii* (szczep JS).

## 2. Cel pracy

Z analizy dostępnego piśmiennictwa wynika, że pszenżyto nie jest obecnie surowcem alternatywnym dla zbóż standardowych wykorzystywanych w piekarnictwie. Statystyki wskazują na spadek spożycia produktów pszennych. Obecnie bardzo popularnym zagadnieniem w technologii spożywczej jest produkcja wyrobów ekologicznych oraz zdrowe żywienie. Zjawisko to dotyczy również piekarnictwa. Na obecnym etapie rozwoju technologii piekarskich zmierza się głównie do wykorzystania wysokogatunkowych mąk pszennych jako podstawowego surowca o podwyższonej jakości żywieniowej. Zmiany w sposobie żywienia i dążenie konsumentów do urozmaicenia diety przyczyniają się do poszukiwania nowych surowców w piekarnictwie. Pieczywo może stanowić cenne źródło składników bioaktywnych, wpływających istotnie na poprawę modelu żywienia. Ze względu na relatywnie duże spożycie pieczywa przez większość populacji dąży się do nadania mu cech żywności funkcjonalnej. Jednym z czynników mogących wpłynąć na wzrost spożycia pieczywa jest zastosowanie pszenżyta ze względu na jego wysokie walory żywieniowe. Problemem są jednak ograniczone możliwości wypiekowe mąk pszenżytnich oraz odmienny smak tego typu pieczywa. Zakłada się, że wykorzystanie szczepów probiotycznych bakterii fermentacji mlekowej podniesi przydatność technologiczną produktów przemiału pszenżyta i poprawi zdrowotność tego typu pieczywa. Dostępne piśmiennictwo nie opisuje wpływu tego typu zabiegów technologicznych na teksturę i aktywność przeciwutleniającą pieczywa.

Głównym celem pracy było określenie przydatności mąki pszenżytniej w piekarnictwie.

Sformułowano następujące cele szczegółowe:

1. Określenie możliwości zastosowania mąki pszenżytniej jako surowca alternatywnego dla mąk z innych zbóż chlebowych.
2. Przedstawienie możliwości polepszenia jakości wypiekowej mąk dzięki zastosowaniu ekologicznych metod uprawy pszenżyta.
3. Określenie możliwości korekcji właściwości wypiekowych mąk przez użycie starterów fermentacji mlekowej oraz probiotyków.
4. Określenie wpływu powyższych zabiegów na właściwości przechowalnicze gotowych wyrobów.
5. Przedstawienie wpływu zastosowanych preparatów na aktywność przeciwutleniającą pieczywa.

Założono, że osiągnięcie powyższych celów pozwoli na:

1. Opracowanie technologii produkcji nowego wyrobu o podwyższonych walorach dietetycznych, opartego na mące pszenżytniej.
2. Określenie zachowania ciasta pszenżytniego podczas obróbki i wypieku w celu przystosowania do produkcji masowej.



### 3. Materiał i metody

#### 3.1. Materiał

Materiał badawczy stanowiły próbki mąki pszenżytniej typu 500 charakteryzujące się liczbą opadania z przedziału 61–119 s, otrzymane z Krajowego Instytutu Badawczego ds. Rybactwa i Rybołówstwa w Gülzow (Niemcy) za pośrednictwem Katedry Agronomii Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (tabela 5). W systemie konwencjonalnym zastosowano nawożenie azotem w ilości  $130 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , w systemie zaś ekologicznym źródłem azotu była mieszanka koniczyny z trawami jako przedplon. Próbki ziarna przemielono na mąkę w Zakładzie Technologii Zbóż SGGW w Warszawie, wykorzystując młyn laboratoryjny Quadrumat Senior (Brabender, Niemcy). Uzyskano mąki o wyciągu wynoszącym średnio 51%. Mąki przechowywano w warunkach zamrażalniczych ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) w ciemni w celu wyeliminowania rozwoju pasożytów oraz wpływu promieniowania UV.

Tabela 5. Odmiany pszenżyta oraz oznaczenia próbek mąki

Odmiana	Numer próbki mąki z uprawy	
	konwencjonalnej	ekologicznej
SW TALENTRO	225	226
BENETTO	227	228
MODERATO	229	230
VERSUS	231	232
VITALIS	233	234
BALTICO	235	236

Do produkcji pieczywa porównawczego (kontrolnego) zastosowano:

1. Mąkę pszenną (opakowanie 25 kg), typu 500 Nordland Muhlen GmbH (Niemcy), spełniającą wymagania PN-A-74022/A1:1996, o następujących parametrach według atestu jakościowego:

- wilgotność: 14,6%,
- popiół: 0,774%,
- gluten mokry: 29,8%,
- rozptywalność: 150 mm,
- liczba opadania: 368 s,
- zapach: swoisty,
- smak: swoisty,
- zanieczyszczenia: nie stwierdzono.

2. Mąkę żytnią (opakowanie 25 kg), typu 720 Nordland Muhlen GmbH (Niemcy), spełniającą wymagania PN-A-74032/A1:1986, o parametrach według atestu jakościowego:

- wilgotność: 14,8%,
- popiół: 0,668%,
- liczba opadania: 299 s,
- zapach: swoisty,



- smak: swoisty,
- zanieczyszczenia: nie stwierdzono.

3. Mąkę pszenną typu 500 (ekologiczny system uprawy, Katedra Agronomii Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Polska), o następujących parametrach:

- wilgotność: 14,2%,
- wskaźnik sedymentacji: 25,7 ml,
- zawartość glutenu: 27,5%,
- rozplýwalność glutenu: 0,65 mm,
- indeks glutenowy: 97,75,
- liczba opadania: 190 s,
- wodochłonność: 55,6%,
- czas rozwoju ciasta: 2,24 min,
- stałość ciasta: 7 min,
- rozmiękczenie: 60 FU,
- zapach: swoisty,
- smak: swoisty,
- zanieczyszczenia: nie stwierdzono.

4. Mąkę żytnią typu 720 (ekologiczny system uprawy, Katedra Agronomii Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Polska), o następujących parametrach:

- wilgotność: 14,9%,
- wskaźnik sedymentacji: 21,1 ml,
- liczba opadania: 155 s,
- zapach: swoisty,
- smak: swoisty,
- zanieczyszczenia: nie stwierdzono.

Dostawy odbywały się w taki sposób, aby zapewnić trzymiesięczny, przewidziany w normie okres przydatności technologicznej. Po przejściu partii każdy gatunek mąki oznaczano farinograficznie w celu określenia przydatności technologicznej.

#### *Przygotowanie starterów fermentacji/ probiotyków*

Starter kultury bakterii kwasu mlekowego przygotowano na 24 h przed sporządzaniem ciast. Roztwór sporządzono przez dodanie 1 g ( $\pm 0,001$  g) preparatu do 100 ml beztłuszczowego mleka (UHT) podgrzanego do temperatury 38°C. Po 24 h preparat dodawano do ciasta w ilości 5% objętości wody potrzebnej do sporządzenia ciasta.

Zastosowano startery fermentacji mlekowej lub probiotyki, lub spulchniacze biologiczne:

1. Probiotyk medyczny Trilac<sup>®</sup> wyprodukowany przez Kortex-Poland Sp. z o.o (Polska). Jedna kapsułka preparatu zawiera:  $1,6 \cdot 10^9$  CFU bakterii kwasu mlekowego:
  - *Lactobacillus acidophilus* La-5: 37,5%,
  - *Lactobacillus delbrueckii subs. Bulgaricus* Lb-Y27: 25%,
  - *Bifidobacterium lactis* Bb-12: 37,5%.

Preparat występuje w postaci zliofilizowanej, w powlekanym mikrogranulkach, zabezpieczających bakterie przed inaktywującym działaniem soku żołądkowego. Jak podaje producent, preparat regeneruje i przywraca możliwości rozwoju prawidłowej flory bakteryjnej jelit. Zawarte w nim szczepy bakterii wytwarzają kwas mlekowy, który obniża pH w przewodzie pokarmowym oraz zapobiega rozwojowi drobnoustrojów chorobotwórczych. Preparat korzystnie działa na przewód pokarmowy człowieka, obniżając pH, poprawiając rozwój prawidłowej flory jelitowej oraz zapobiegając osiedlaniu się i rozwojowi drobnoustrojów chorobotwórczych.

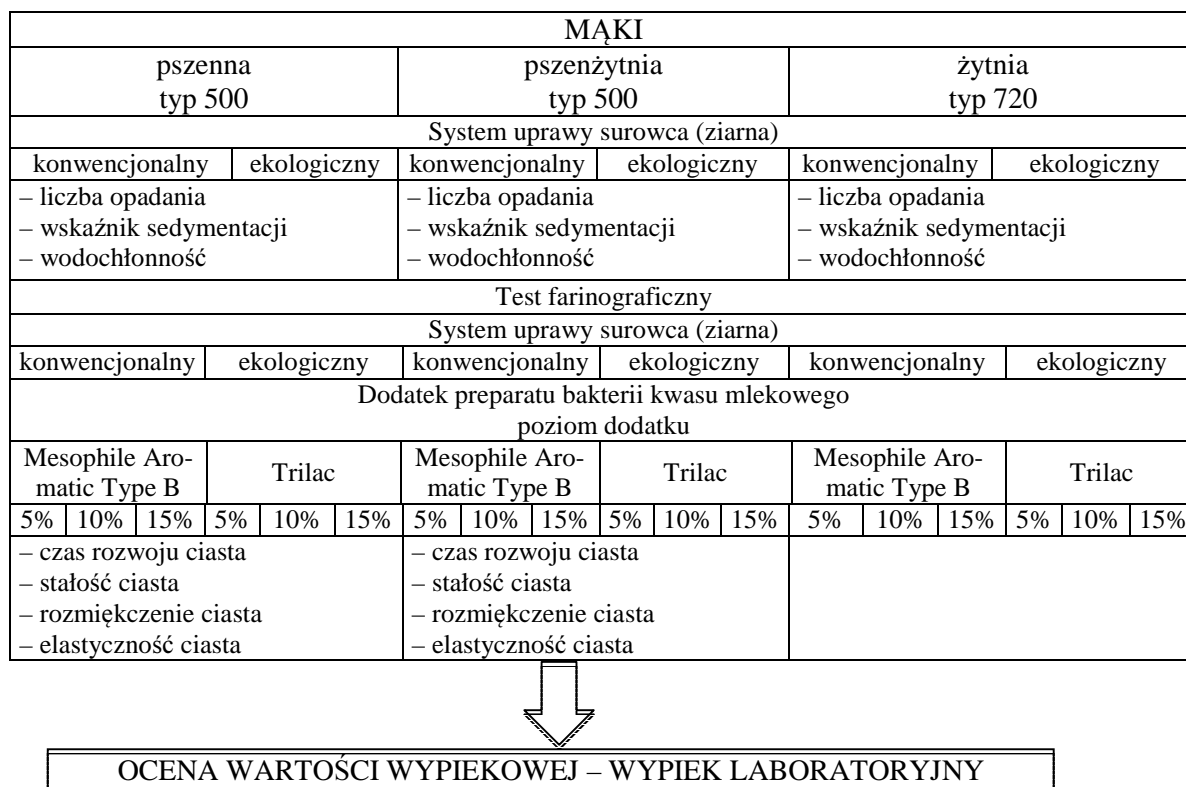
2. Probiotyk medyczny Lacidozone<sup>®</sup> wyprodukowany przez Contract Pharmacal Corporation (USA) dla Ozone Laboratories Polska Sp. z o.o. Jedna kapsułka zawiera łącznie  $3 \cdot 10^3$  żywych szczepów bakterii *Lactobacillus acidophilus* LA 5 i *Biphidobacterium* BB12. Preparat zalecany podczas antybiotykoterapii (w trakcie lub po), w nieregularnej pracy jelit oraz w przypadku osłabienia funkcji naturalnej bariery jelitowej.

3. Starter fermentacji mlekowej Mesophile Aromatic Type B<sup>®</sup> wyprodukowany przez Abiasa inc. (Kanada). Jest to standardowy preparat mleczarski o składzie mikrobiologicznym: *Lc. lactis*, *Lc. cremoris*, *Sc. diacetylactis*, *Ln. cremoris* (średni stopień zakwaszania, wytwarzanie gazu).

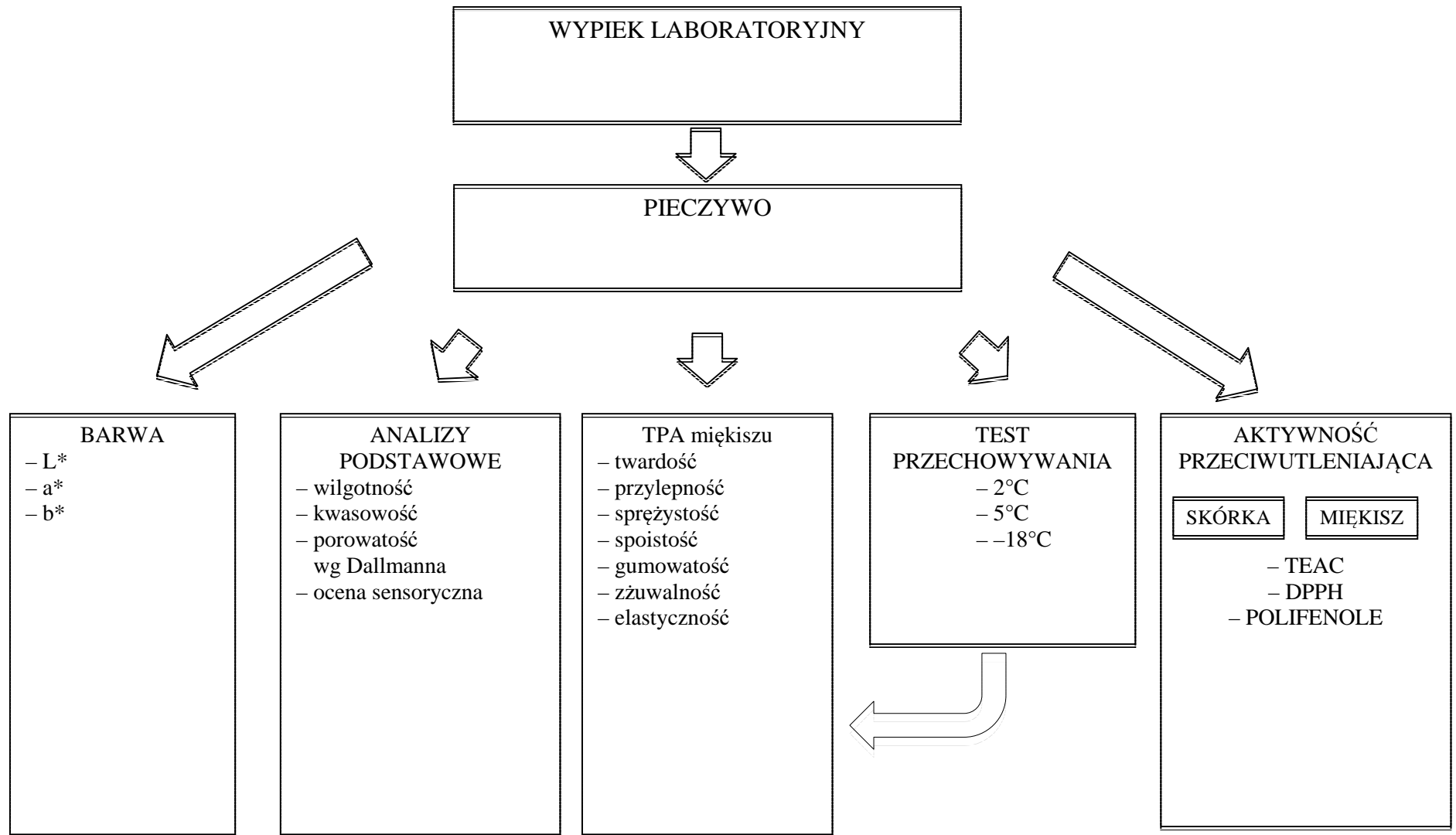
4. Spulchniacz biologiczny – drożdże piekarskie Lesaffre Polska S.A. (Polska).

## 3.2. Metody

Badania prowadzono zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat prowadzonych badań



Rysunek 1. Schemat prowadzonych badań (cd.)

### *Liczba opadania*

Aktywność  $\alpha$ -amylazy mąk użytych w doświadczeniu oznaczono z wykorzystaniem aparatu SWD-83 (Polska) do pomiaru liczby opadania, zgodnie z PN-ISO-3093/K: 2010.

### *Ocena farinograficzna mąki pszennej i pszenżytniej*

Wykonano w farinografie Brabendera wyposażonym w mieszalnik S300N, zgodnie z procedurą ICC STANDARD No. 115/1 i PN-ISO-5530-1P: 1999. Oznaczano wodochłonność mąki, czas rozwoju ciasta, jego stałość, rozmiękczenie i elastyczność. W przypadku stosowania dodatku preparatów bakterii kwasu mlekowego korygowano ilość dodanej wody według wzoru:

$$V_d = V_{\text{wod}} - V_{\text{Bm}}$$

gdzie:

$V_d$  – ilość wody dodanej,

$V_{\text{wod}}$  – objętość wody wynikająca z wodochłonności,

$V_{\text{Bm}}$  – objętość dodatku bakterii kwasu mlekowego.

### *Wypiek kontrolny*

Ciasta sporządzano w mieszarce Hobart Kitchen Aid (USA). Pieczywo pszenne wykonywano zgodnie z procedurą ICC STANDARD No. 131. W przypadku pieczywa pszenżytniego procedurę tę zmodyfikowano, uzupełniając o metodę bezpośrednią prowadzenia ciast, zgodnie z metodyką podaną przez Horubałową i Habera (1989).

Odmierzano 250 g mąki o wilgotności 15%. W przypadku oznaczonej wilgotności (różnej od 15%) zastosowano wzór:

$$X = (S \cdot 100) / (100 - w)$$

gdzie:

$X$  – szukana naważka badanej mąki o oznaczonej wilgotności,

$S$  – zawartość suchej substancji w 250 g mąki o wilgotności 15% w 1 g (212,5 g),

$w$  – wilgotność badanej mąki (%).

Odmierzono ilość wody potrzebną do uzyskania ciasta o wydajności 165% (162,5 cm<sup>3</sup>). W przypadku wypieku z udziałem preparatów zastąpiono wodę 5-, 10- i 15-procentowym roztworem mikroflory inkubowanej (38°C, 24 h) w beztłuszczowym mleku UHT. Wyliczoną ilość wody odpowiednio korygowano w zależności od tego, o ile gramów mąki zużyto więcej lub mniej w stosunku do 250 g mąki o 15-procentowej wilgotności. Odmierzono dodatek drożdży (3% w stosunku do ilości mąki) w postaci zawiesiny wodnej (wodę pobrano z ogólnej ilości wody). Odmierzono dodatek soli (1,5% w stosunku do ilości mąki) w postaci zawiesiny wodnej (wodę pobrano z ogólnej ilości wody). Wodę dozowano tak, aby temperatura ciasta wyniosła 32°C. Rozrost ciasta prowadzono w temperaturze 32°C przez 1 h w komorze Unox S.P.A. (typ

XL, model XL 091, Włochy), w wilgotności względnej powietrza wynoszącej 75–80%, po czym formowano kęsy ciasta. Uformowane kęsy umieszczano w foremkach, a następnie poddawano fermentacji końcowej w temperaturze 35°C. Czas fermentacji końcowej ciasta do uzyskania jego pełnej dojrzałości wynosił 20–40 min. Proces wypieku pieczywa prowadzono w piecu elektrycznym Unox S.P.A. (typ XF, Włochy) w temperaturze 230–240°C przez 35–40 min, stosując parowanie pieca przez 3 s co 5 min w ciągu pierwszych 15 min wypieku.

#### *Pomiar właściwości fizykochemicznych*

Wydajność ciasta oceniano według wzoru:

$$X = (a \cdot 100) / m (\%)$$

gdzie:

a – masa ciasta (g),

m – masa użytej mąki o wilgotności 15% (g).

Stratę piecową obliczano ze wzoru:

$$X = [(a-b) \cdot 100] / a (\%)$$

gdzie:

a – masa ciasta uformowanego do wypieku (g),

b – masa pieczywa gorącego po wyjęciu z pieca (g).

Wydajność pieczywa obliczono według wzoru:

$$X = (c \cdot w) / a (\%)$$

gdzie:

c – masa pieczywa ochłodzonego (g),

w – wydajność ciasta (%),

a – masa ciasta uformowanego do wypieku (g).

Stratę wypiekową całkowitą obliczono według wzoru:

$$X = [(a-c) \cdot 100] / a (\%)$$

gdzie:

a – masa ciasta uformowanego do wypieku (g),

c – masa pieczywa ochłodzonego (g).

Kwasowość czynną oznaczano metodą miareczkową w dwóch powtórzeniach. Do kolby miarowej ze szlifem odmierzano i wlewano 250 cm<sup>3</sup> wody destylowanej. Następnie odmierzano na wadze analitycznej 25 g badanego pieczywa, po czym dodawano je do kolby miarowej z wodą. Całość energicznie mieszano przez 5 min, a następnie pozostawiano na 15 min do ekstrakcji. Drugim krokiem było odlanie po 50 ml wyekstrahowanego roztworu do dwóch kolb i dodanie do nich po 3–4 krople fenoloftaleiny. Ostatnim etapem było miarecz-

kowanie roztworu za pomocą 0,1-molowego roztworu NaOH do uzyskania jasnoróżowej barwy utrzymującej się przez 1 min.

Objętość pieczywa oznaczano w trzech powtórzeniach w aparacie Sa-Wy. Wilgotność oznaczano w trzech powtórzeniach na wagosuszarce Radwag (Polska), model WPS 110.

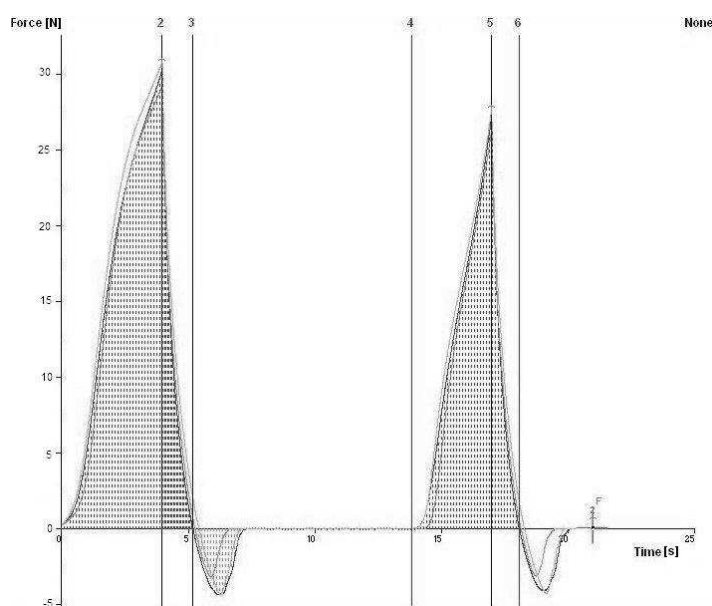
Porowatość pieczywa według Dallmanna oceniano na podstawie tabeli porowatości. Utrwalenie wyglądu miększu przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania do komputerowej analizy obrazu MultiScan w wersji v.11.06, współpracującego z kamerą CCD i przekształcającego obraz do binarnego.

### *Ocena sensoryczna*

Ocenę pieczywa wykonano po 6–8 h od wypieku według PN-A-74108: 1996 oraz ICC Standard No. 131. Ponieważ nie wykonywano badań fizykochemicznych, ogólną punktację cech organoleptycznych zwiększono o 8 punktów w celu uzyskania porównywalnej oceny generalnej, przyjmując jako zasadę, że wyróżniki fizykochemiczne pieczywa i jego masa są zgodne z normą. Wyniki zaokrąglono do liczb całkowitych, zgodnie z PN-A-74108: 1996

### *Analiza profilu tekstury i właściwości reologicznych*

Analizę profilu tekstury (TPA) dotyczącą miększu pieczywa wykonano z użyciem aparatu Texture Analyser TA-XT2/25<sup>®</sup> (Stable Micro Systems, Wielka Brytania), sprzężonego z komputerem za pomocą własnej karty rozszerzeń. Sterowanie przeprowadzono, używając programu Texture Expert for Windows<sup>®</sup> v. 1.22. Prędkość trzpienia przed rozpoczęciem testu wynosiła  $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , a w czasie testu i po jego wykonaniu  $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Zastosowano trzpień cylindryczny o średnicy 0,5” (SMS P/0,5”) i dwukrotne odkształcenie próbki do 50% jej wysokości. Przebieg testu rejestrowano w postaci krzywych przedstawiających zmiany sił w czasie (rysunek 2).



Rysunek 2. TPA – Przykładowy obraz wyniku testu podwójnego ściskania

Procedura pomiaru za pomocą testu podwójnego ściskania polegała na określeniu twardości wyrażanej jako siła (N) potrzebna do deformacji próbki na zadanym odcinku pomiarowym. W trakcie wykreślenia pierwszego piku może dojść do znacznego przełomu, który jest określany mianem kruchości. W przypadku żywności o słabej elastyczności może wystąpić pik poniżej linii startu pomiaru, tzw. zera. Pik ten jest określany mianem przylepności ( $N \cdot s$ ). Stosunek pola powierzchni pierwszego i drugiego piku jest określany jako spoistość. Sprężystość reprezentuje odległość (mm) od końca pierwszego piku do początku drugiego. W teście podwójnego ściskania można określić jeszcze tzw. gumowatość (twardość  $\cdot$  spoistość). Obróbkę otrzymanych wyników wykonano za pomocą programu liczącego *Tpafrac.mac*.

#### *Teksturometryczne oznaczenie przydatności pieczywa pszenżytniego po chłodniczym i zamrażalniczym przechowywaniu*

Po wypieku kontrolnym pieczywo pakowano w opakowania polietylenowe półprzepuszczalne i przechowywano przez 48 h w temperaturze 20°C, 7 dni w temperaturze 5°C oraz 30 dni w temperaturze -18°C. Po wyznaczonym okresie przechowywania pieczywo poddawano testowi TPA w trybie dwukrotnego odkształcenia próbki do 50% jej wysokości. W przypadku przechowywania zamrażalniczego zastosowano 12-godzinne kondycjonowanie w 20°C.

#### *Barwa*

Barwę otrzymanych próbek oznaczano kolorymetrem Hunter  $L^*a^*b^*$ , model D25, Hunter Associates Laboratory, Inc, (USA), wyposażonym w lampę kwarcowo-halogenową. Stosowano obserwator kolorymetryczny o polu widzenia 10°, przy geometrii układu 45°/0°. Pomiarów parametrów barwy ( $L^*$  – jasność,  $a^*$  – czerwoność i  $b^*$  – żółtość) próbek pieczywa wykonywano na płytkach Petriego, o średnicy 60 mm i grubości 1,2 mm, w świetle odbitym. Stosowano pięć powtórzeń. Użyto wzorca bieli C-6544 zarówno do miękiszu, jak i skórki pieczywa bez i z dodatkiem (5%, 10% i 15%) startera inkubowanego 24 h w 0-procentowym mleku UHT. Oznaczono również współczynnik różnicy barwy  $\Delta E$  ze wzoru:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

gdzie:

$L - L^*$  (jasność),

$a - a^*$  (czerwoność),

$b - b^*$  (żółtość),

$L_1, a_1, b_1$  – wartości dla próbki kontrolnej.

#### *Przygotowanie ekstraktów do badania aktywności przeciwutleniającej*

Pieczywo zmielono i ekstrahowano 80-procentowym metanolem (5 g/50 ml) przez wstrząsanie w czasie 2 h, następnie próbki wirowano przy 4500 rpm przez 15 min (Michalska

i in. 2007a). W ekstraktach oznaczano aktywność przeciwutleniającą jako zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH oraz całkowitą pojemność przeciwutleniającą (TEAC).

#### *Aktywność przeciwutleniająca jako zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH*

Aktywność przeciwutleniającą badano metodą Tang i in (2002), z zastosowaniem 0,2  $\mu\text{M}$  DPPH (2,2-difenylo-1-pikrylohydrazyl). Próbkę właściwą stanowił ekstrakt metanowy, próbkę odnośnikową 80-procentowy metanol. Do 4 ml ekstraktu dodawano 1 ml 0,2  $\mu\text{M}$  DPPH w metanolu, próbki wstrząsano i pozostawiano w ciemności. Absorbancję mierzono przy długości fali 517 nm po 30 min, a aktywność przeciwutleniającą wyrażano jako spadek absorbancji w stosunku do próbki kontrolnej (%), stosując krzywą wzorcową troloksu (jako równoważniki troloksu).

#### *Całkowita aktywność przeciwutleniająca (TEAC)*

Całkowitą aktywność przeciwutleniającą (TEAC) mierzono w oparciu o redukcję kationorodnika ABTS<sup>+</sup> przez przeciwutleniacze obecne w ekstrakcie metanowym (Re i in. 1999). Rodnik ABTS był wytwarzany w wyniku reakcji 7  $\mu\text{M}$  roztworu ABTS (2,2'-anino-bis(3-etylobenzotiazolino-6-sulfonian) w wodzie z  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  (końcowe stężenie 2,45  $\mu\text{M}$ ), prowadzonej w ciemności przez 12–16 h, i rozcieńczenia 80-procentowym metanolem do osiągnięcia absorbancji  $0,700 \pm 0,020$  przy długości fali 734 nm. Następnie mieszano 4 ml roztworu ABTS i 40  $\mu\text{l}$  badanego ekstraktu i po 30 min odczytywano absorbancję przy długości fali 734 nm. Całkowitą aktywność przeciwutleniającą wyrażano na podstawie procentowej inhibicji absorbancji jako równoważniki troloksu. Wyniki przeliczano w  $\mu\text{M}$  troloksu/g masy próbki na podstawie krzywej wzorcowej.

#### *Oznaczenie związków polifenolowych metodą Turkmena i in. (2005)*

Uprzednio przygotowany ekstrakt całkowity pobierano pipetą w ilości 1 ml do kolbki stożkowej (pojemność 25 ml) i rozcieńczano dwukrotnie 80-procentowym metanolem. Z tak rozcieńczonej próbki pobierano 1 ml do kolbki stożkowej (pojemności 25 ml) i mieszano z 5 ml 10-procentowego odczynnika Folina–Ciocalteu. Po pięciu minutach dodawano 4 ml 7,5-procentowego  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Całość po wymieszaniu pozostawiano na 2 h w ciemni w temperaturze pokojowej.

Absorbancję próbek mierzono spektrofotometrycznie aparatem Thermo Spectronic (Anglia) typu Helios Gamma w trzech powtórzeniach przy długości fali 750 nm. Wyniki przeliczano w miligramach kwasu galusowego na 100 g masy próbki na podstawie o krzywej wzorcowej.



*Analiza statystyczna*

Otrzymane wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem programów Excel i Statistica 10.0 PL. W celu oszacowania wpływu zastosowanych preparatów na profile TPA, barwę oraz całkowitą aktywność przeciwutleniającą zastosowano wieloczynnikową analizę wariancji. Statystyczną istotność różnic ustalono dwoma rodzajami testów statystycznych ( $p \leq 0,05$ ), różniących się poziomem ostrości: testem Scheffego, którego specyfiką jest zwiększona ostrość oraz uwzględnienie nierównej ilości danych przeznaczonych do analizy, oraz testem RIR Tukeya, potwierdzającym test Scheffego dla nierównomiernego i równomiernego rozkładu wyników. W celu wyznaczenia trendów wyników zastosowano istotność korelacji przy  $p \leq 0,05$  oraz powierzchniowe wykresy 3D.

## 4. Wyniki

### 4.1. Wpływ dodatku startera fermentacji mlekowej oraz systemu uprawy pszenżyta na jakość mąki oraz ciasta

Analizowano wpływ systemu uprawy pszenżyta na podstawowe wskaźniki jakości otrzymanej mąki (tabela 6). W przypadku mąk otrzymanych z ziarna pozyskanego z pszenżyta uprawianego konwencjonalnie średnie wartości liczby opadania nie przekraczały 61 s. O około 10% niższą aktywność enzymatyczną odnotowano dla mąk z odmiany *Moderato*, dla których średnia liczba opadania wyniosła 64,5 s. Wśród mąk z ziaren ekologicznych najwyższą średnią wartość liczby opadania uzyskano dla mąki z odmiany *Moderato* (119 s).

Tabela 6. Wpływ systemu uprawy pszenżyta na jakość mąki – liczba opadania, wskaźnik sedymentacji, wodochłonność mąki

System upraw zbóż	Parametry jakości mąk	Kod próby					
		225	227	229	231	233	235
Konwencjonalny	liczba opadania (s)	61,0	61,0	64,5	61,0	62,0	61,0
	wskaźnik sedymentacji (ml)	13,7	14,2	13,2	14,7	10,3	10,8
	wodochłonność mąki (%)	55,3	58,1	55,4	54,1	55,1	55,5
Ekologiczny		226	228	230	232	234	236
	liczba opadania (s)	61,0	61,0	119,0	66,5	62,5	62,0
	wskaźnik sedymenta- cji (ml)	13,5	14,5	13,5	12,6	9,2	9,2
	wodochłonność mąki (%)	57,1	59,0	55,55	53,6	55,5	57,5

Średni wskaźnik testu sedymentacji dla mąk pszenżytnich nie zależał istotnie od systemu uprawy (13–14 ml). Większe wahania zanotowano dla mąk ekologicznych. Najniższe wartości uzyskano dla mąk z odmian *Vitalis* i *Baltico*.

Średnia wodochłonność mąk pszenżytnich konwencjonalnych (55%) nie różniła się istotnie od wartości tego parametru dla mąk ekologicznych (56%). Mąka z odmiany *Benetto* charakteryzowała się najwyższą średnią wodochłonnością bez względu na system uprawy (58,1% – konwencjonalny, 59% – ekologiczny), jednak dla mąki z odmiany *Moderato* stwierdzono najniższe wahania wyników. Nie odnotowano również istotnych różnic w wartościach wodochłonności pomiędzy mąkami ekologicznymi i konwencjonalnymi.

W celu określenia wpływu systemu uprawy oraz ilości dodatku startera fermentacji mlekowej wykonano test farinograficzny, wyznaczając pięć podstawowych parametrów: wodochłonność mąki, czas rozwoju ciasta, jego stałość, rozmiękczenie oraz elastyczność. Jako próbkę kontrolną wykorzystano mąkę pszenną typu 500 (tabela 7).





Starter inkubowano w mleku UHT beztłuszczowym, następnie dodawano go do ciasta (stężenie 5%, 10% oraz 15%), zastępując nim część wody przewidzianej do wytworzenia ciasta standardowego, określoną na podstawie farinograficznego testu wodochłonności. Średni czas rozwoju ciasta nie przekraczał 2 min. Taki sam wynik uzyskano zarówno w testach mąki pszennej, jak i testach kontrolnych mąk pszenżytnich bez dodatku preparatów starterowych. Czas rozwoju ciasta zależał od stopnia dojrzałości i właściwości hydrofilnych mąki, m.in. od stopnia uszkodzenia granul skrobiowych. Z reguły czas ulega skróceniu przy zbyt dużej dojrzałości mąki lub przy zastosowaniu dodatku czynnika przyspieszającego, np. polepszacza lub preparatu enzymatycznego. Może ulec skróceniu również po użyciu tzw. mąki wadliwej, produkowanej z ziaren o zbyt dużej wilgotności lub przechowywanych w nieodpowiednich warunkach. W miarę wzrostu zawartości startera w cieście czas rozwoju ciasta ulegał skróceniu. Przy 15-procentowym dodatku nie przekraczał 1 min dla wszystkich badanych przypadków oraz próbek kontrolnych. Dziesięcioprocentowy dodatek startera do mleka UHT nie powodował istotnych zmian w czasie rozwoju ciasta z mąki pozyskanej z ziarna konwencjonalnego. W przypadku mąk ekologicznych odnotowano trend spadkowy, jednakże dla mąk z niektórych odmian obserwowano 2-minutowy czas rozwoju ciasta.

Stałość ciasta z mąk pszenżytnich była o 50% niższa w odniesieniu do próbek kontrolnych (mąka pszenna typu 500) już na etapie testów porównawczych pszenżytnich mąk kontrolnych. Dla mąk pszenżytnich kontrolnych nieistotny był również system uprawy oraz odmiana pszenżyta. W porównaniu z próbkami kontrolnymi dodatek startera fermentacji mlekowej w stężeniu 10% i 15% powodował istotne obniżenie stałości ciast pszenżytnich, natomiast 5-procentowy dodatek takiego efektu nie wywoływał. Nie odnotowano wpływu systemu uprawy, chociaż uzyskane wyniki wskazywały, że ciasto z mąki konwencjonalnej nieznacznie dłużej (1 min) utrzymywało stałość.

Rozmiękczenie ciast pszenżytnich istotnie zwiększało się w przypadku 10- i 15-procentowego dodatku preparatów. Ekologiczny system upraw powodował nieistotny wzrost tego parametru, średnio o 10–15%.

Elastyczność ciasta spadała średnio o 10 jB (jednostek Brabendera) w odniesieniu do próbek kontrolnych. Istotny spadek elastyczności zanotowano przy 10- i 15-procentowym dodatku preparatów starterowych. Natomiast 5-procentowy dodatek nie powodował istotnych zmian elastyczności ciasta, jednakże zanotowano trend spadkowy niezależnie od gatunku mąki czy sposobu uprawy.

Badania wstępne dowiodły, że technologicznie zasadny w każdym przypadku jest 5-procentowy dodatek badanych starterów. Testy wykazały, że nie nastąpiła istotna statystycznie odchyłka w stosunku do próbek kontrolnych, co potwierdziło celowość stosowania tej proporcji w dalszych badaniach. Na podstawie analizy jakości tworzono ciasta oraz jego wyróżników jakościowych niezbędnych do takiej oceny zdecydowano, aby do dalszych analiz wybrać odmianę pszenżyta *Moderato*.

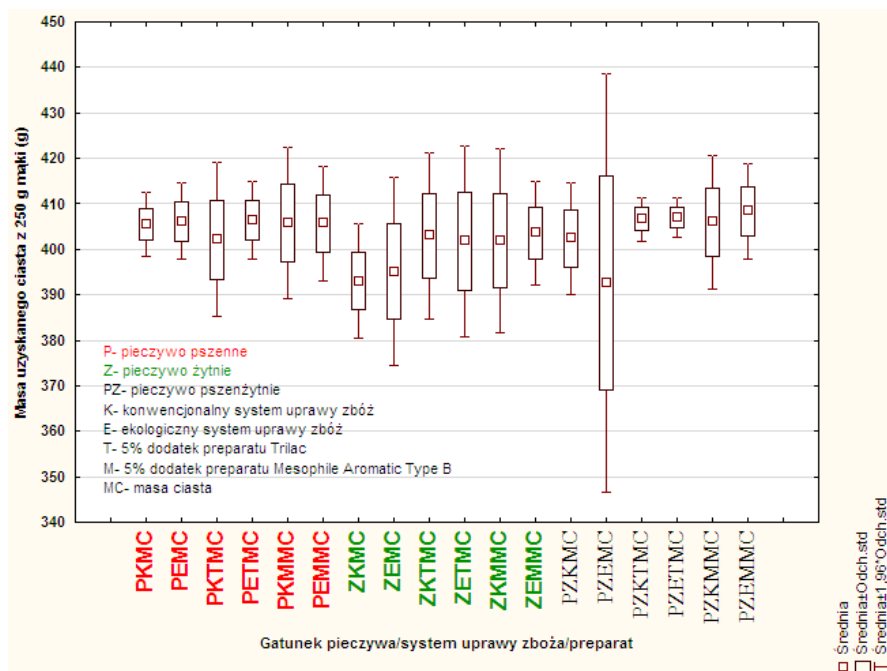
## 4.2. Wybór odmiany pszenżyta

Biorąc pod uwagę wyniki podstawowych analiz jakościowych mąk z poszczególnych odmian pszenżyta (wodochłonność, liczba opadania, wskaźnik sedymentacji) oraz testów farinograficznych (stałość ciasta), do dalszych badań wybrano mąkę z odmiany *Moderato* typu 500, z ziarna pozyskanego z pszenżyta konwencjonalnego i ekologicznego. Analiza testów farinograficznych dowiodła również, że 5-procentowy dodatek preparatów bakterii kwasu mlekowego nie powodował istotnych zmian elastyczności ciasta. Odnotowano nieistotny statystycznie trend spadkowy niezależnie od gatunku mąki i systemu uprawy.

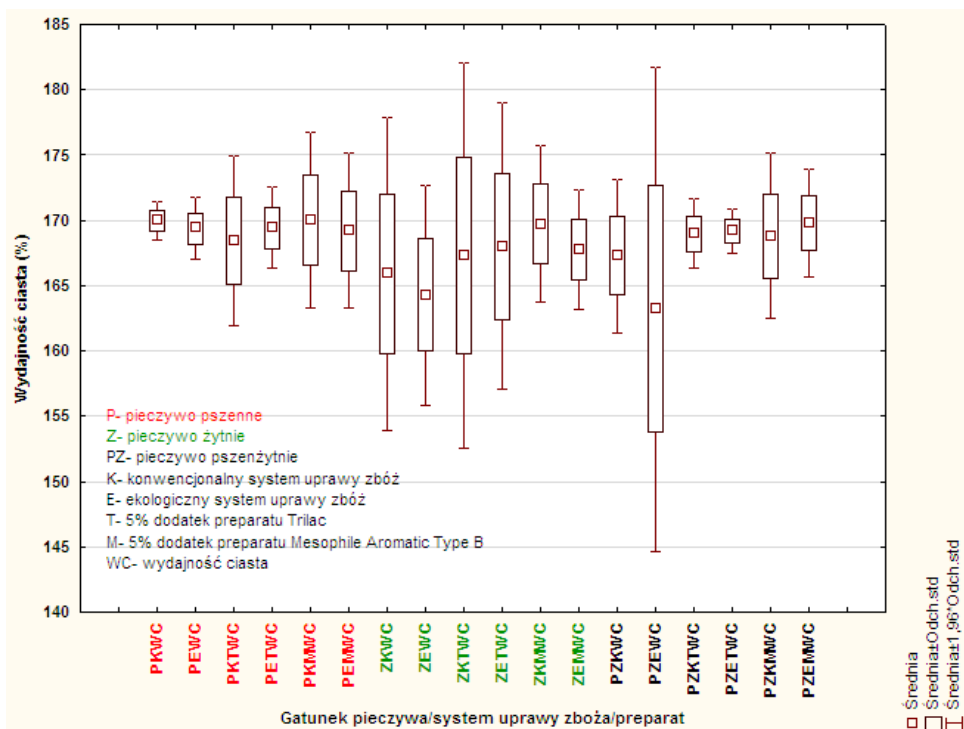
## 4.3. Wypiek

### 4.3.1. Wypiek kontrolny

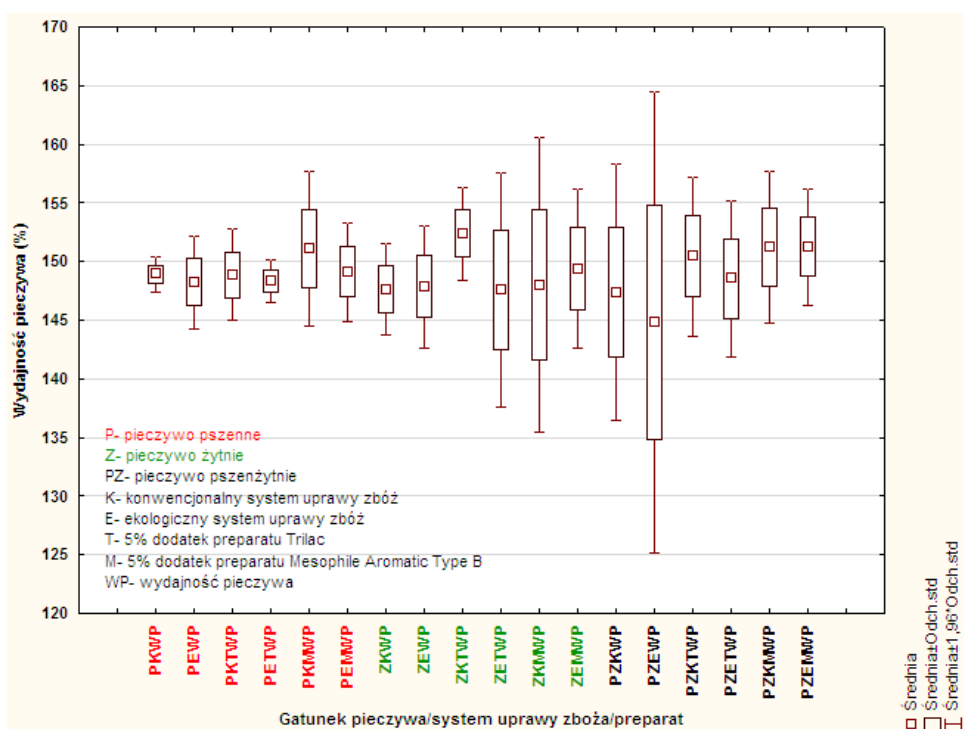
W dalszej części badań wyrabiano ciasto i prowadzono wypiek pieczywa kontrolnego. Porównywano ilość otrzymanego ciasta dla trzech gatunków mąk (pszennej, żytniej oraz pszenżytniej), dwóch systemów uprawy zboża oraz dwóch starterów fermentacji mlekowej (rysunek 3). Przeciętnie otrzymywano około 403 g ciasta. Analiza statystyczna wykazała nieistotne różnice masy pomiędzy ciastami z poszczególnych gatunków mąk. Nieco niższe wartości otrzymano dla ciasta żytniego oraz pszenżytniego niż dla ciasta pszennego. Uzyskane wyniki wskazują na nieznaczny, nieistotny statystycznie wzrost ilości ciasta otrzymywanego z mąk ekologicznych, przy czym trend ten dotyczył wszystkich analizowanych gatunków mąk. Dodatek startera fermentacji mlekowej powodował również nieznaczny wzrost masy uzyskiwanego ciasta, jednakże istotnych różnic pomiędzy wpływem dwóch zastosowanych preparatów nie stwierdzono. W wyniku formowania kęsów nastąpił spadek masy ciasta średnio o 3% (rysunek 3). Końcowa wydajność ciasta wahała się w granicach 165–170% (rysunek 4).



Rysunek 3. Wypiek kontrolny – masa uzyskanego ciasta



Rysunek 4. Wypiek kontrolny – wydajność ciasta

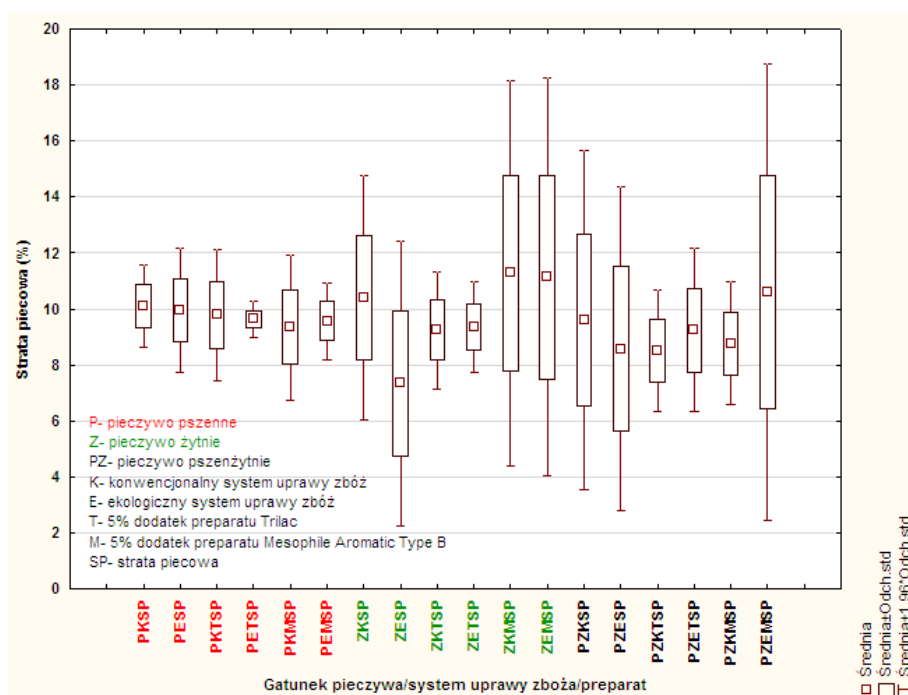


Rysunek 5. Wypiek kontrolny – wydajność pieczywa

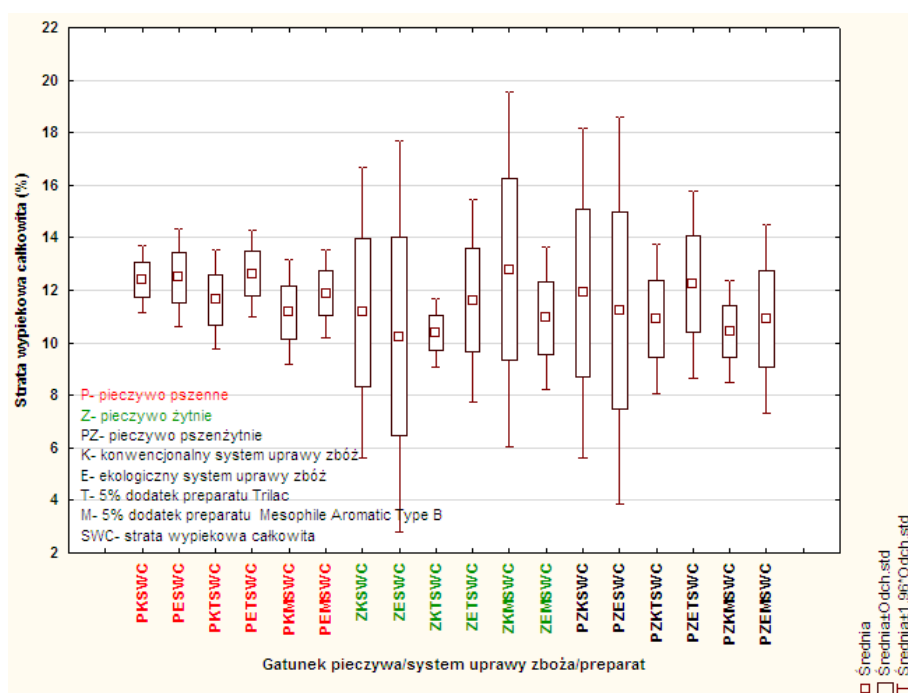
Wydajność otrzymanego pieczywa (rysunek 5) wyniosła średnio 148%, przy czym wydajność pieczywa pszenżytniego była średnio o 1% wyższa niż pieczywa pszennego i podobna do wydajności pieczywa żytniego. Mąki ekologiczne charakteryzowały się nieznacznie niższą wydajnością niż konwencjonalne, jednakże różnica była nieistotna statystycznie. Analizując wpływ preparatów starterowych, stwierdzono wzrost (o 4–5%) wydajności pieczywa

pszenżytniego z preparatem w stosunku do próbki bez dodatku preparatu. Preparat działał lepiej jako dodatek do ciast konwencjonalnych. Nie stwierdzono istotnych różnic między wpływem zastosowanych preparatów. Przeciwnie wyniki otrzymano dla mąki żytniej.

Wyniki dotyczące wydajności pieczywa zostały potwierdzone rezultatami analizy straty piecowej, z których wynika, że dodatek startera fermentacji mlekowej wyraźnie obniżał straty pieczywa pszenżytniego (rysunek 6). Powyższą tezę może również potwierdzać analiza wyników straty wypiekowej całkowitej (rysunek 7).



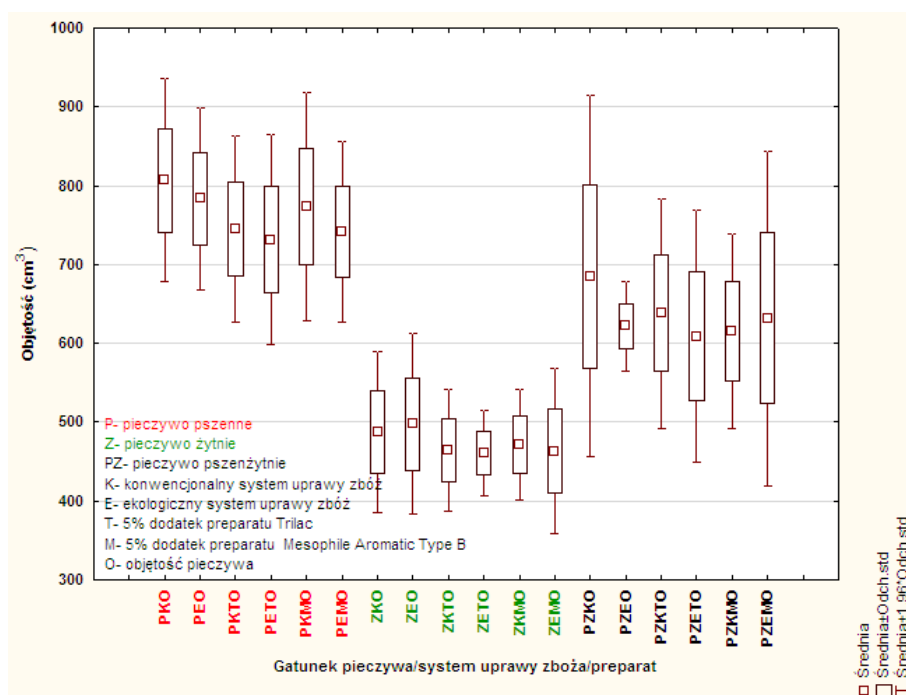
Rysunek 6. Wypiek kontrolny – strata piecowa



Rysunek 7. Wypiek kontrolny – strata wypiekowa całkowita



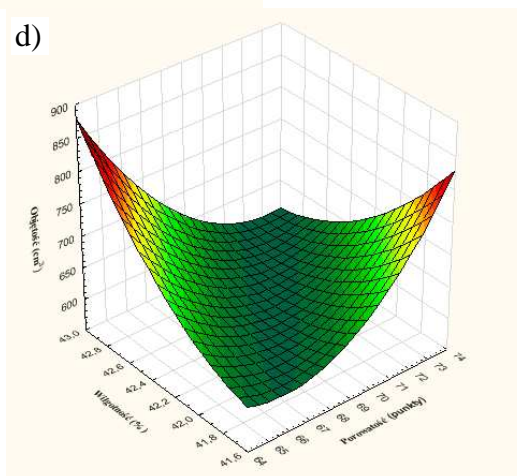
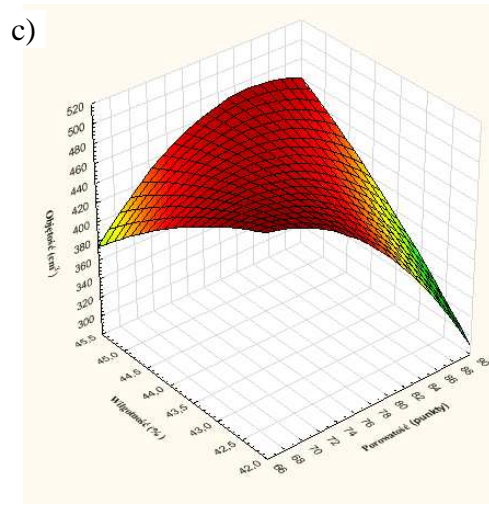
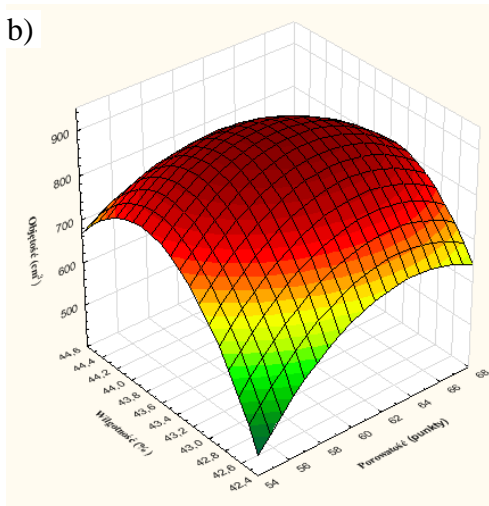
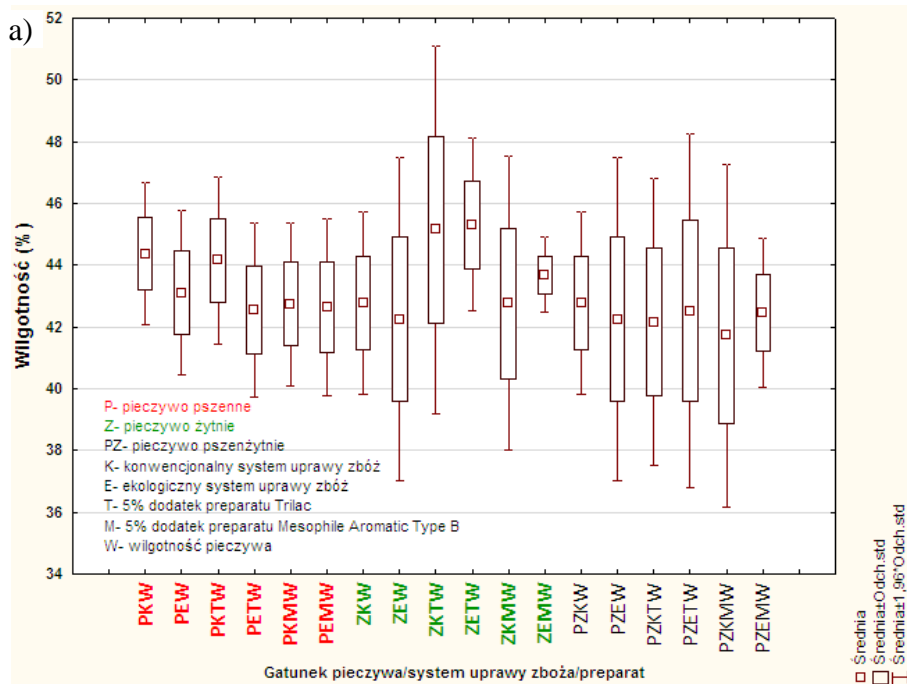
Objętość otrzymanego pieczywa wahała się w granicach od 450 cm<sup>3</sup> (żytnie) do 750 cm<sup>3</sup> (pszenne). Pieczywo pszenżytnie charakteryzowało się pośrednią objętością (630 cm<sup>3</sup>). Zastosowanie startera fermentacji mlekowej nieistotnie obniżało objętość pieczywa. Podobny trend odnotowano dla systemu uprawy zbóż, przy czym lepsze wyniki dotyczą systemu konwencjonalnego (rysunek 8).



Rysunek 8. Wypiek kontrolny – objętość otrzymanego pieczywa

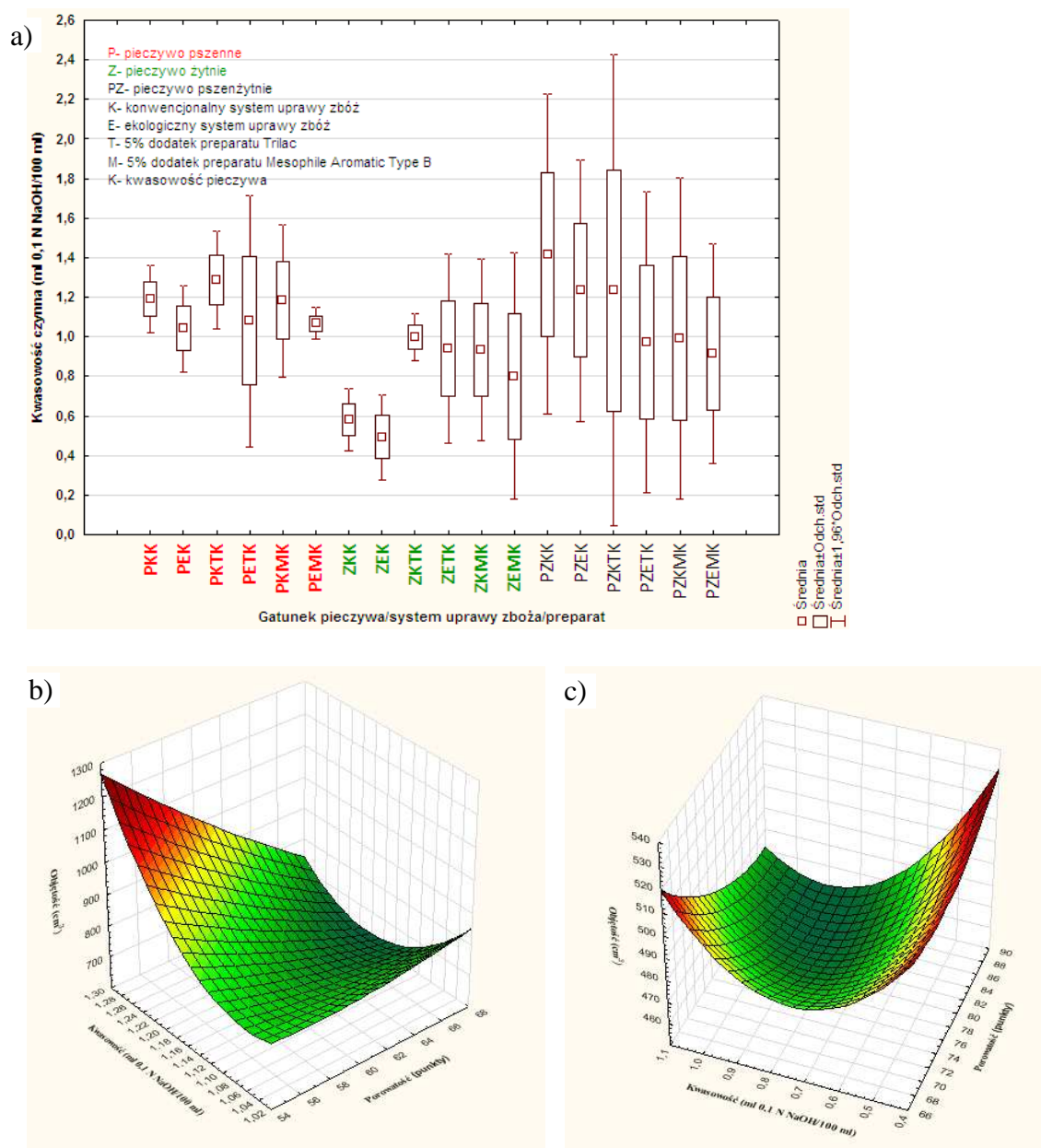
Średnia wilgotność pieczywa wahała się w granicach 43% (rysunek 9). Wilgotność pieczywa żytniego była średnio o 1,5% wyższa niż pozostałych gatunków pieczywa. Istotne różnice odnotowano dla pieczywa żytniego modyfikowanego preparatem Trilac. W przypadku pieczywa pszennego i pszenżytniego zarówno system uprawy, jak i dodatek preparatu nie wpływały na końcową wilgotność produktu.

Najlepiej na objętość pieczywa pszennego oraz żytniego wpływały średnie wartości wilgotności i porowatości. W przypadku pieczywa pszenżytniego najlepszymi parametrami objętości charakteryzowały się wyroby o wilgotnościach i porowatościach skrajnych. Zjawisko to ma odzwierciedlenie w wynikach analizy dotyczącej średniej ilości otrzymanego ciasta oraz strat wypiekowych pieczywa. Analiza ta wykazała, że wartości odnoszące się do mąki pszenżytniej były nieistotnie wyższe (rysunek 9).

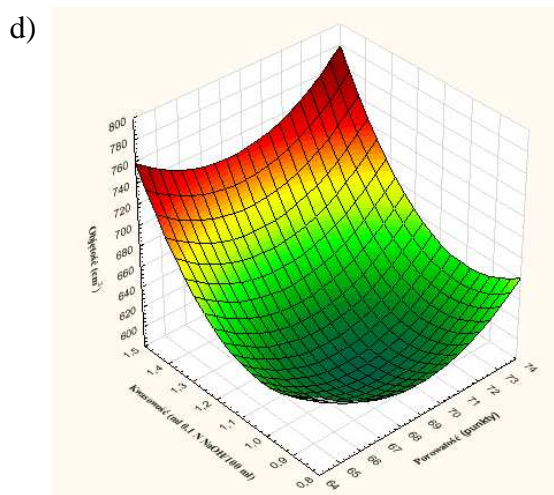


Rysunek 9. Wpływ wilgotności na porowatość i objętość: a) średnia wilgotność; b) pieczywo pszenne; c) pieczywo żytnie; d) pieczywo pszenżytnie

Najniższą kwasowością charakteryzowało się pieczywo żytnie z mąki ekologicznej w odniesieniu zarówno do pieczywa kontrolnego (pszenne), jak i pszenżytniego (rysunek 10). Dodatek każdego preparatu powodował obniżenie kwasowości zależne od gatunku mąki, z której wyprodukowano pieczywo, niezależne od systemu uprawy zboża na mąkę. W przypadku pieczywa pszenżytniego, jak i pszennego spadek był na poziomie nieistotnym w obu testach sprawdzających. Wyższa kwasowość pieczywa pszennego sprzyjała wzrostowi objętości przy znacznym spadku porowatości. Jeżeli chodzi o pieczywo żytnie, najlepsze parametry wypiekowe uzyskano przy kwasowościach skrajnych, aczkolwiek statystyczną większość rezultatów otrzymano dla kwasowości minimalnej. W przypadku pieczywa pszenżytniego wyższa kwasowość i porowatość przekładała się na lepszą objętość wyrobu (rysunek 10).



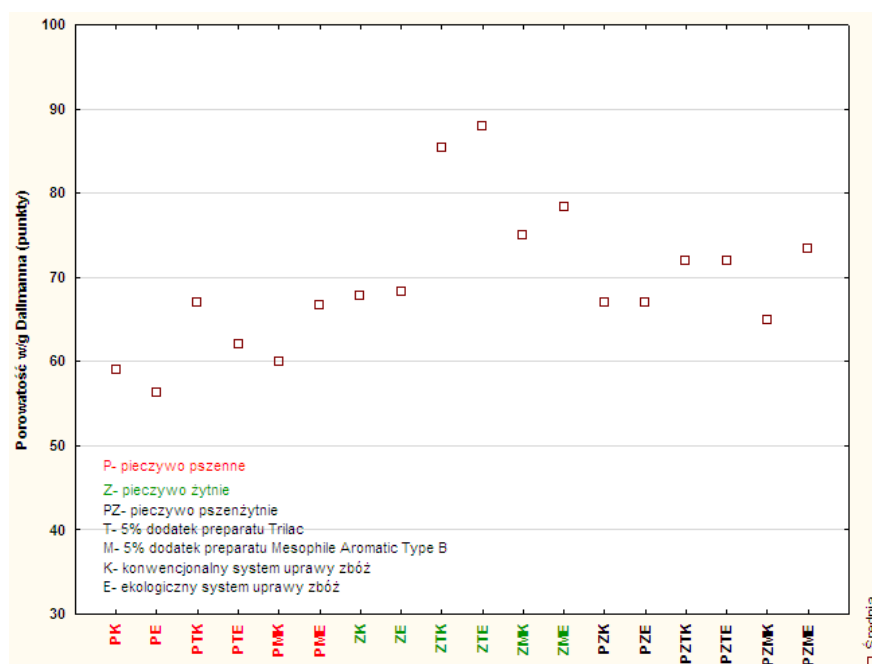
Rysunek 10. Wpływ kwasowości na porowatość i objętość; a) średnia kwasowość; b) pieczywo pszenne; c) pieczywo żytnie



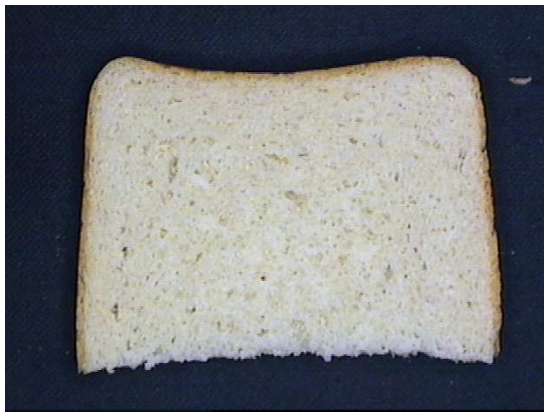
Rysunek 10. Wpływ kwasowości na porowatość i objętość: d) pieczywo pszenżytnie

#### 4.3.2. Porowatość oznaczona metodą Dallmanna

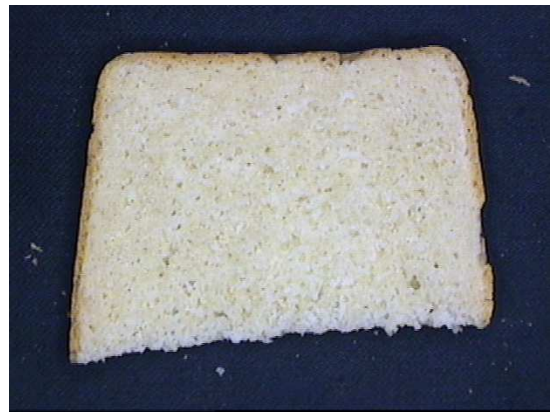
Porowatość oznaczona metodą Dallmanna jest punktowym wyznacznikiem jakości miękiszu. Cecha jest skorelowana z objętością pieczywa oraz strukturą poszczególnych porów tworzących miększo. Procedura metody polega na porównaniu binarnego obrazu przekroju pieczywa ze wzorcem porowatości określonym na podstawie obrazów wzorcowych. Większe wyrównanie porów daje w sumie ocenę wyższą. Zamieszczone fotografie przedstawiają przekrój poprzeczny analizowanych gatunków pieczywa (rysunek 11, fot. 1). Najwyższe noty według punktowej oceny Dallmanna otrzymało pieczywo żytnie modyfikowane preparatami starterowymi bakterii kwasu mlekowego. Wyniki wskazują również, że forma ekologiczna uprawy zbóż podnosi wskaźnik porowatości. Analizowane pieczywo pszenżytnie nie odbiegało porowatością od wzorca (pieczywo pszenne).



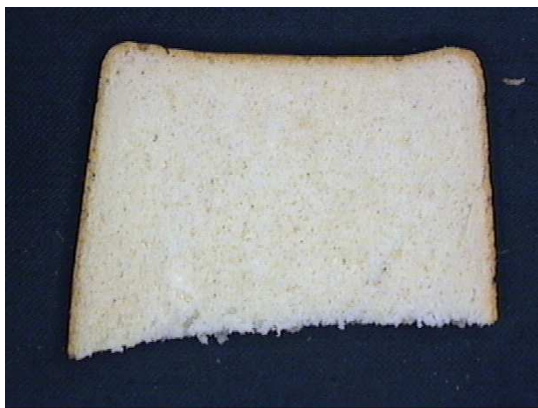
Rysunek 11. Porowatość pieczywa oznaczona metodą Dallmanna



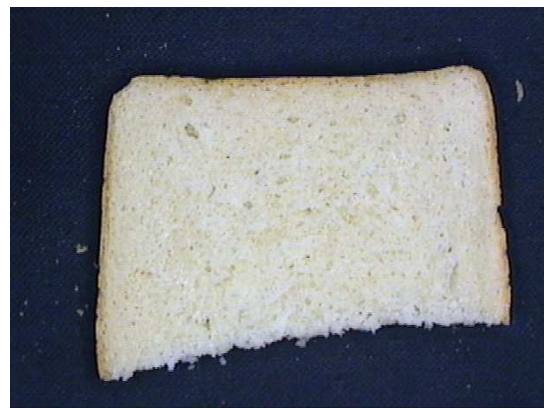
CK



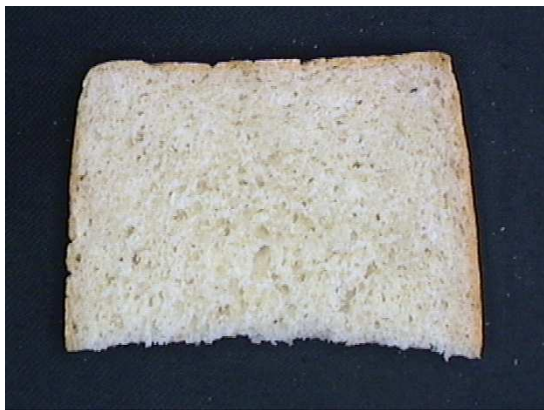
CE



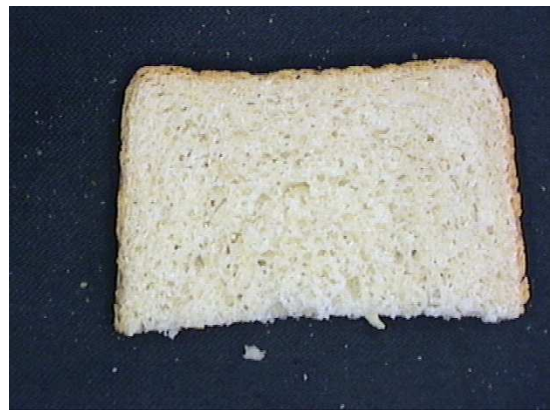
KT



ET

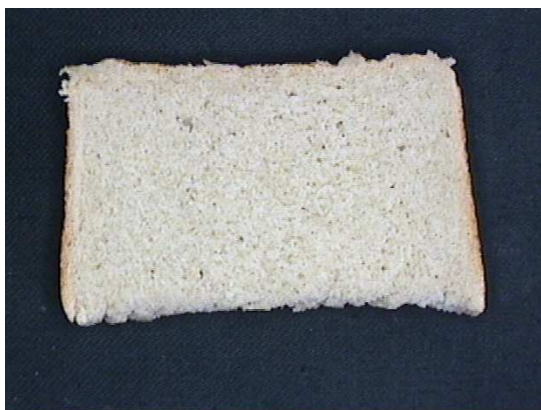


KM



EM

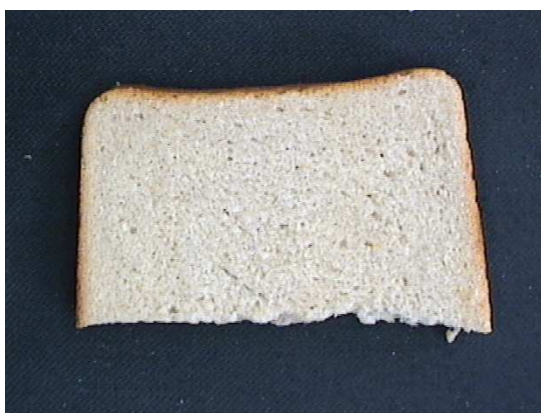
Fot. 1. Obraz przekroju struktury pieczywa pszennego: C – pieczywo kontrolne, K – system konwencjonalny uprawy, E – system ekologiczny uprawy, T – 5-procentowy dodatek preparatu Trilac, M – 5-procentowy dodatek preparatu Mesophile Aromatic Type B



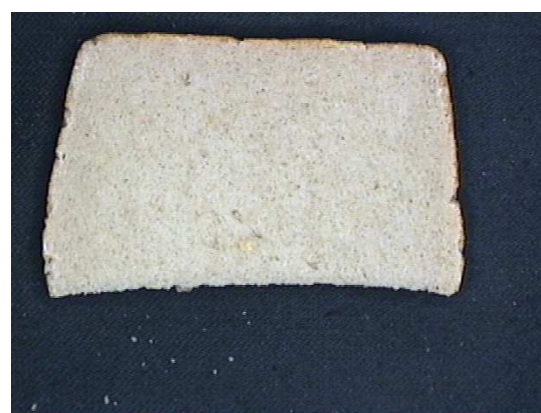
CK



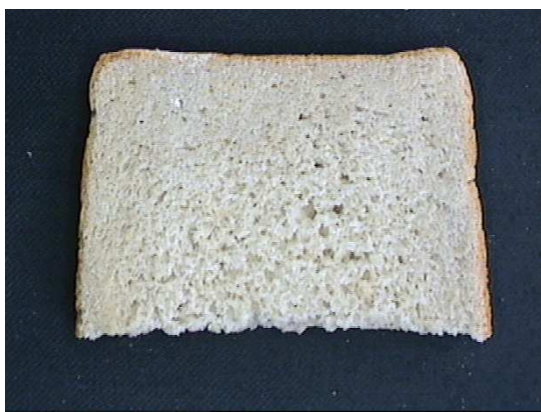
CE



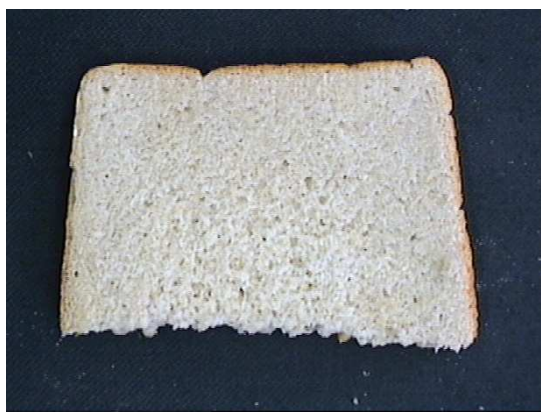
KT



ET

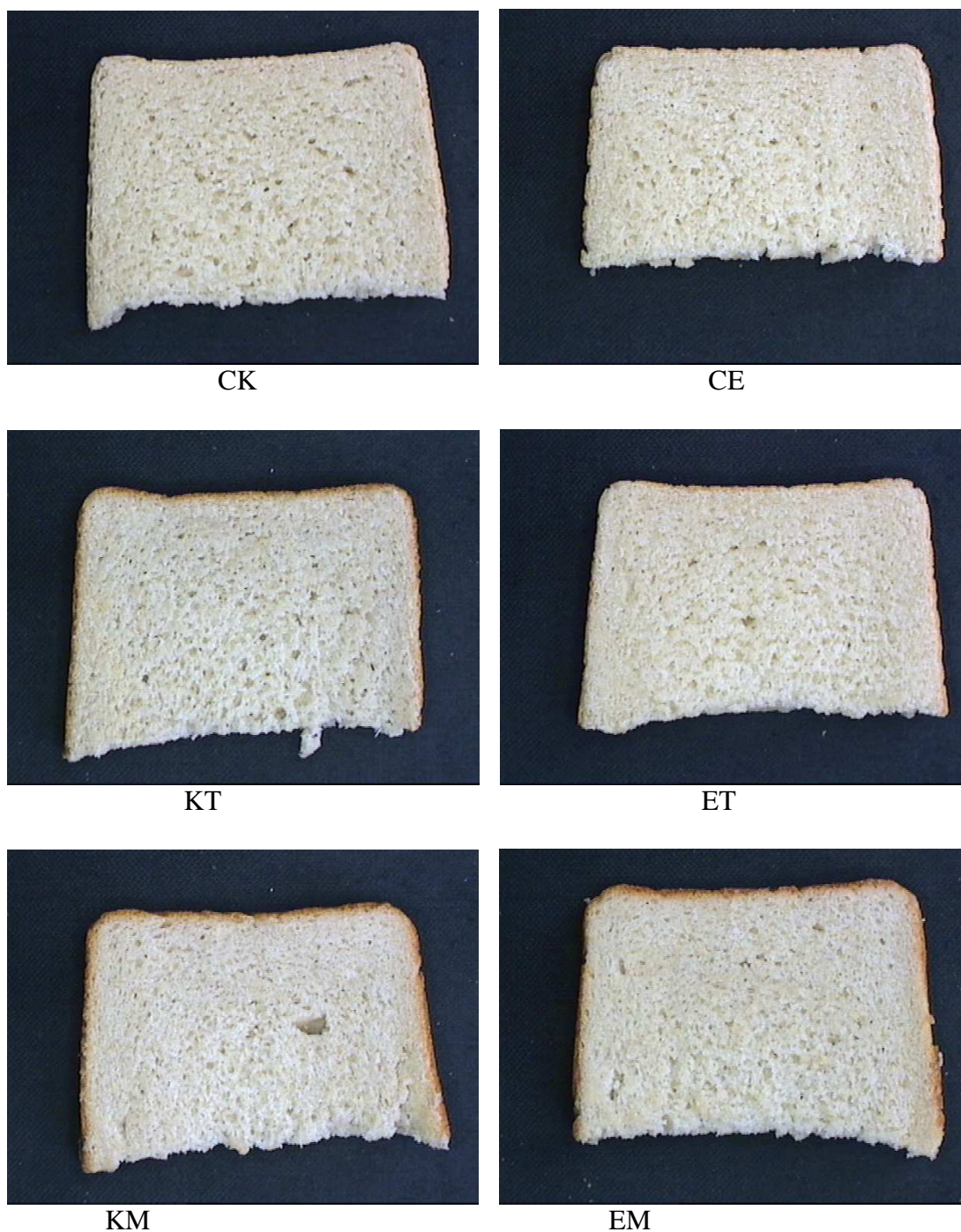


KM



EM

Fot. 1. Obraz przekroju struktury pieczywa żytniego: C – pieczywo kontrolne, K – system konwencjonalny uprawy, E – system ekologiczny uprawy, T – 5-procentowy dodatek preparatu Trilac, M – 5-procentowy dodatek preparatu Mesophile Aromatic Type B (cd.)

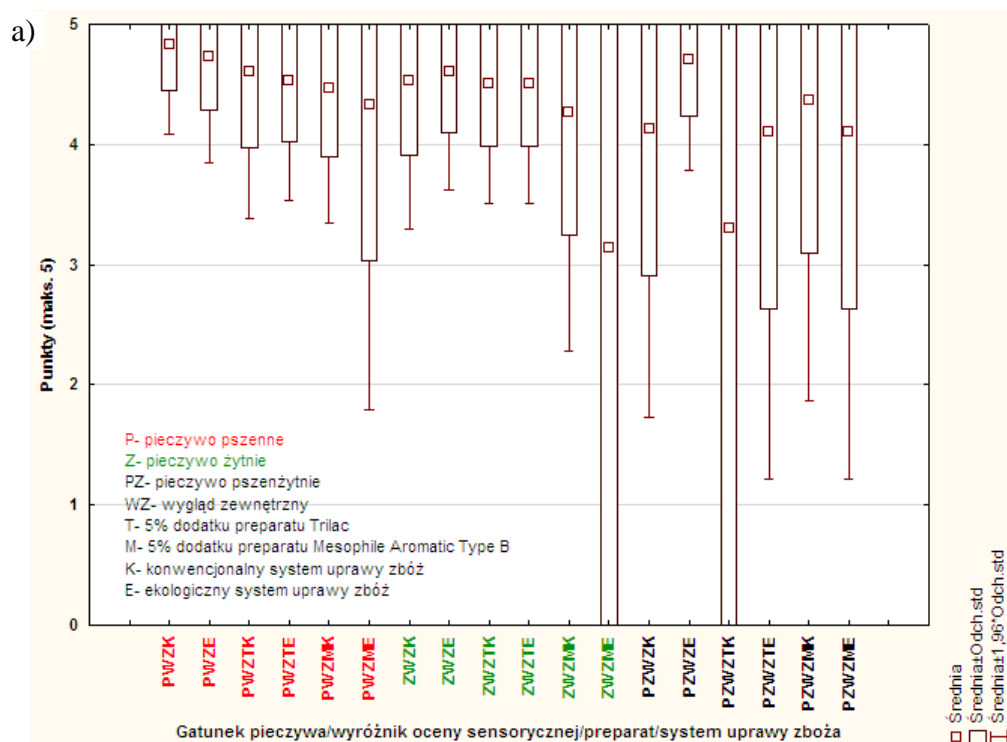


Fot. 1. Obraz przekroju struktury pieczywa pszenżytniego: C – pieczywo kontrolne, K – system konwencjonalny uprawy, E – system ekologiczny uprawy, T – 5-procentowy dodatek preparatu Trilac, M – 5-procentowy dodatek preparatu Mesophile Aromatic Type B (cd.)

### 4.3.3. Ocena sensoryczna

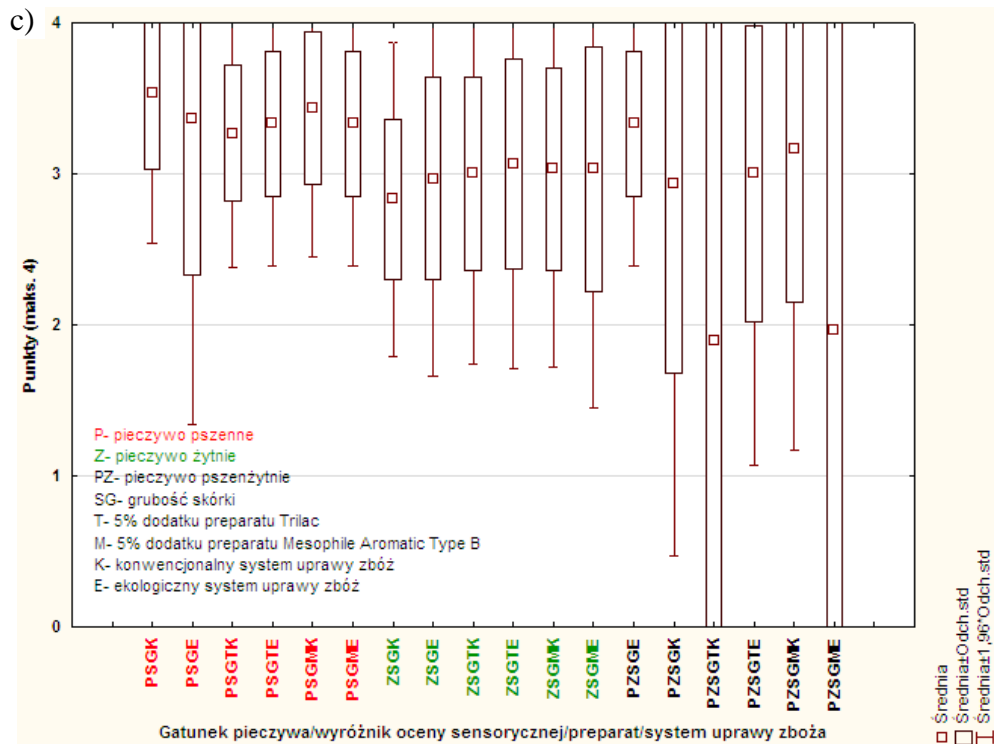
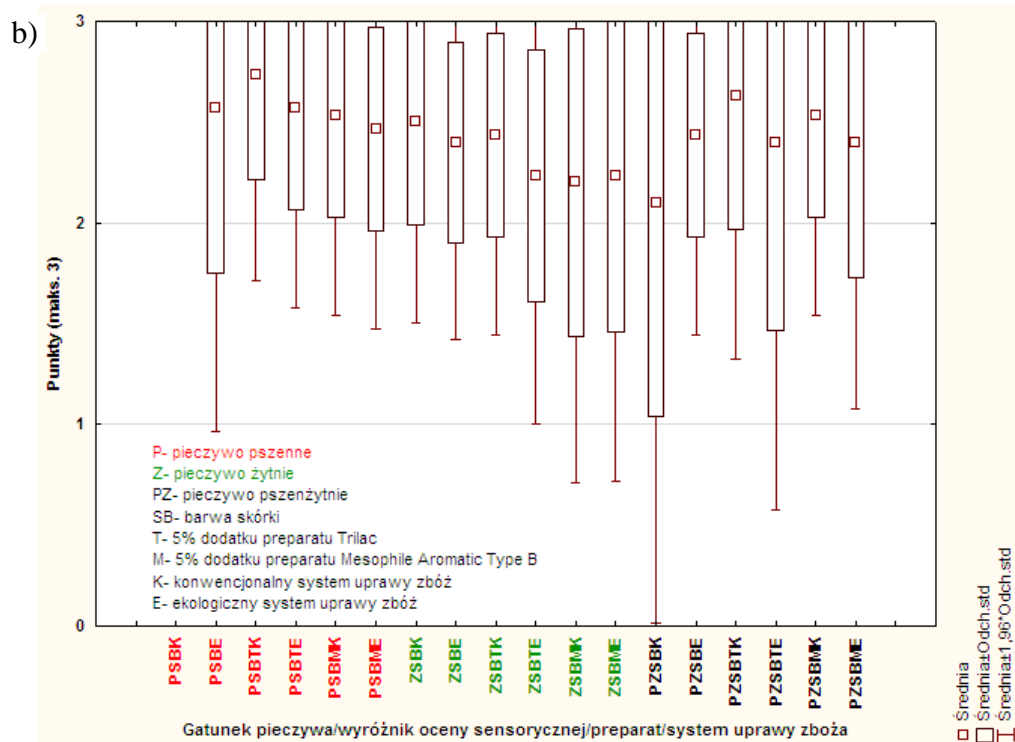
Ocenę sensoryczną poszczególnych form pieczywa przeprowadził przeszkolony zespół (10 osób) zgodnie z PN-A-74108:1996. Wystąpił znaczny rozrzut otrzymanych wyników (rysunek 12). W przypadku wyglądu zewnętrznego pieczywo pszenżytnie uzyskało nieco gor-

sze wyniki, przy czym dodatek preparatów fermentacji mlekowej obniżał wartość ocen. Najbardziej akceptowalna była forma ekologiczna pieczywa pszenżytniego. Zarówno w przypadku próbek kontrolnych, jak i pieczywa żytniego dodatek obu preparatów i forma ekologiczna pogarszały wygląd zewnętrzny pieczywa. Wyższe odchylenie standardowe w ocenie wyglądu zewnętrznego pieczywa pszenżytniego dowodzi skrajnych ocen co do akceptowalności tego parametru oceny sensorycznej. Pod względem barwy skórki wyroby pszenżytnie nie odbiegały od pieczywa pszennego, jednakże system ekologiczny uprawy podnosił noty jedynie wyrobów pszennych oraz żytnich. W przypadku pieczywa pszenżytniego odnotowano trend odwrotny. Ocena grubości skórki wypadła zdecydowanie na niekorzyść wyrobów pszenżytnich, które pośrednio przejęły wiele cech pieczywa żytniego. Wygląd wyrobów pszenżytnich był więc oceniany skrajnie różnie, czego odzwierciedleniem jest duży rozrzut wyników. Z analizy ogólnej oceny miękkiszu poszczególnych rodzajów pieczywa wynika, że we wszystkich wariantach pieczywo pszenżytnie uzyskiwało gorsze wyniki. Duży rozrzut wyników dotyczących tego rodzaju pieczywa potwierdza skrajne oceny, jak również mniej korzystny wpływ zastosowanych preparatów kwasu mlekowego, jak i ekologicznego systemu uprawy surowca. Wyroby ekologiczne w ogólnej ocenie smaku nie odbiegały istotnie od pieczywa standardowego. Odnotowano poprawę wartości tego parametru po zastosowaniu preparatów kwasu mlekowego.

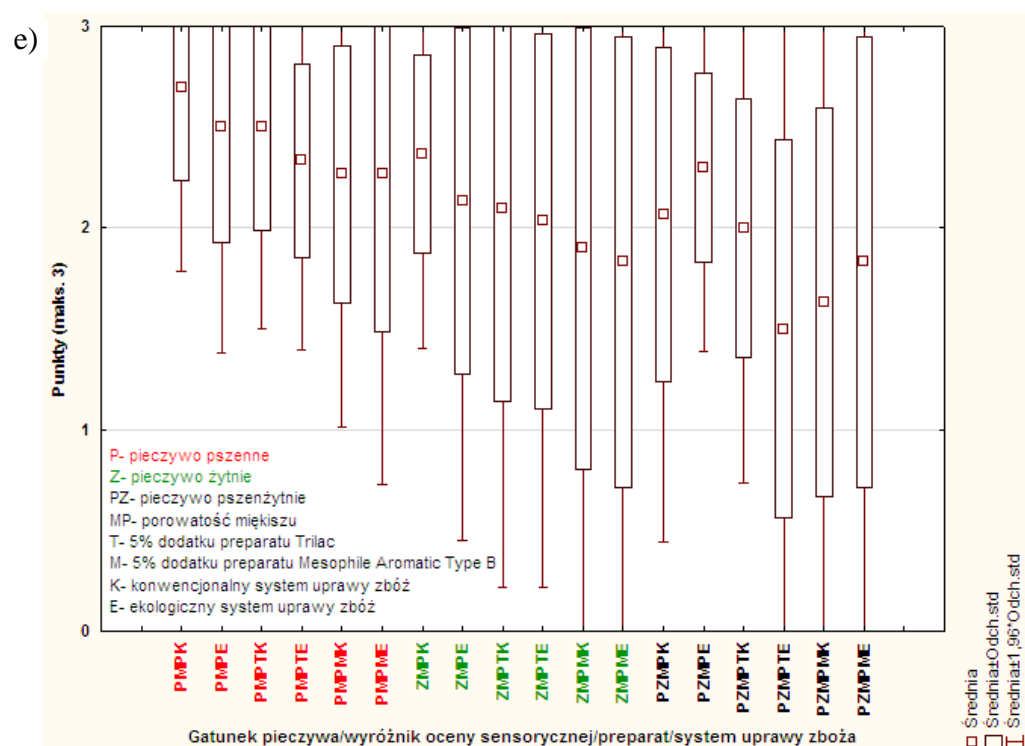
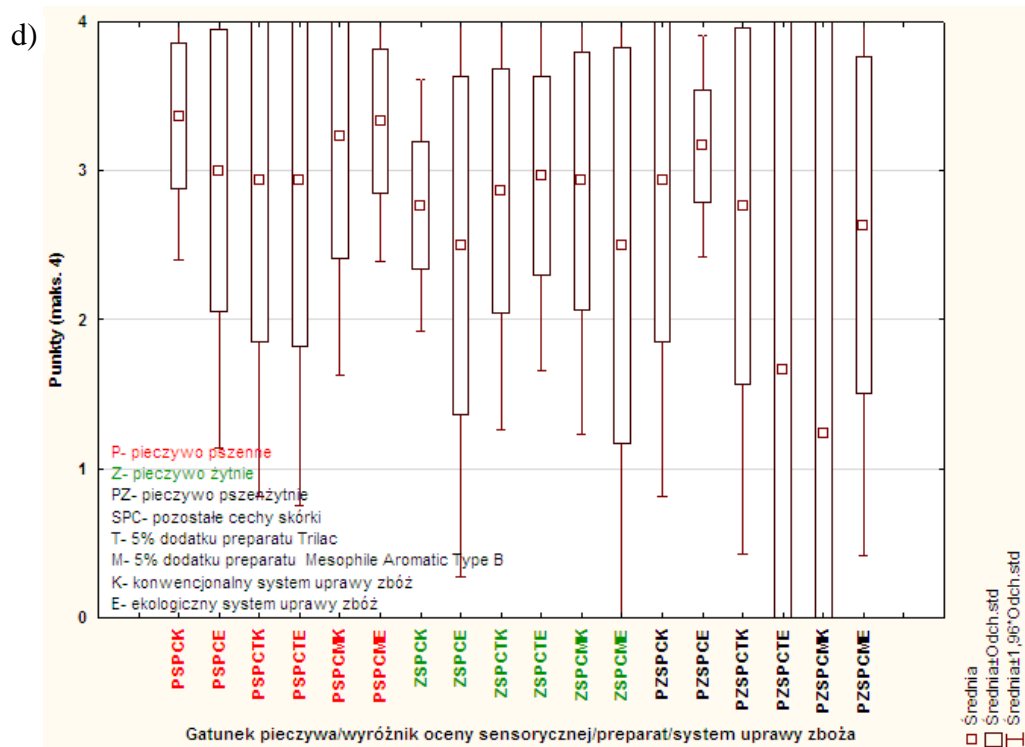


Rysunek 12. Podstawowe wyróżniki oceny sensorycznej: a) wygląd zewnętrzny

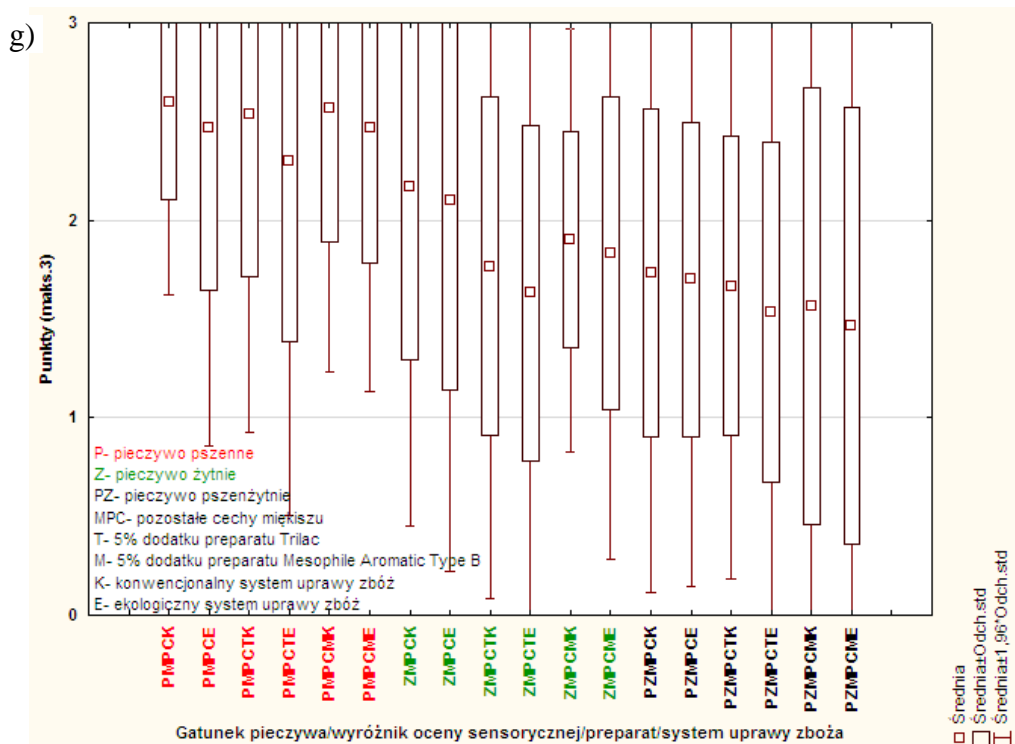
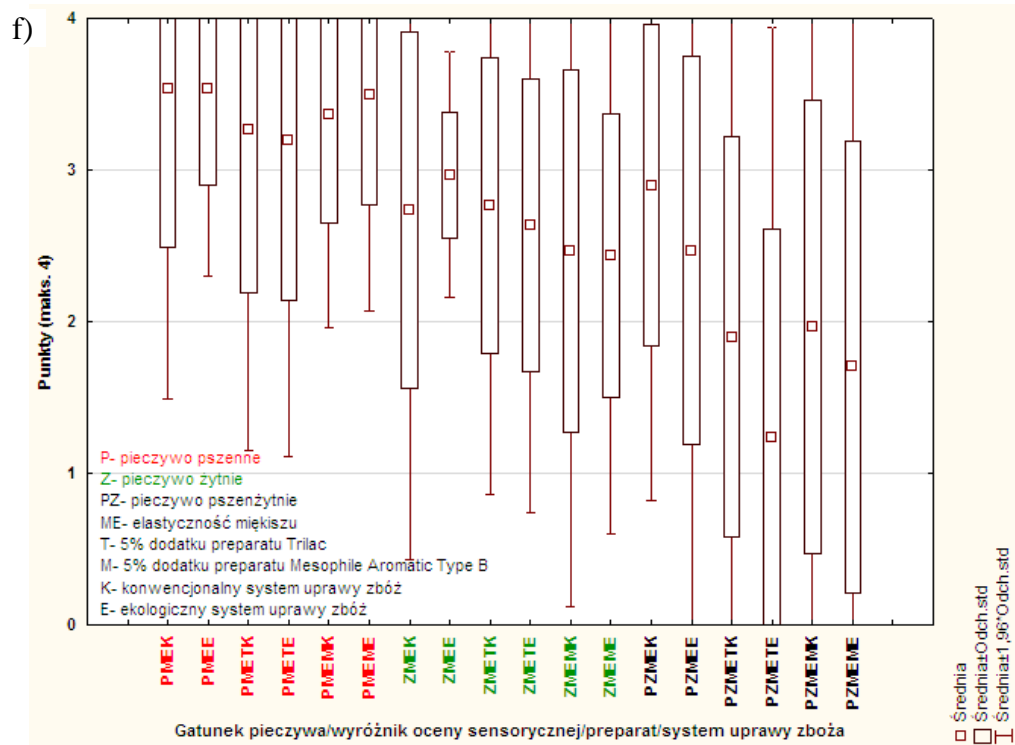




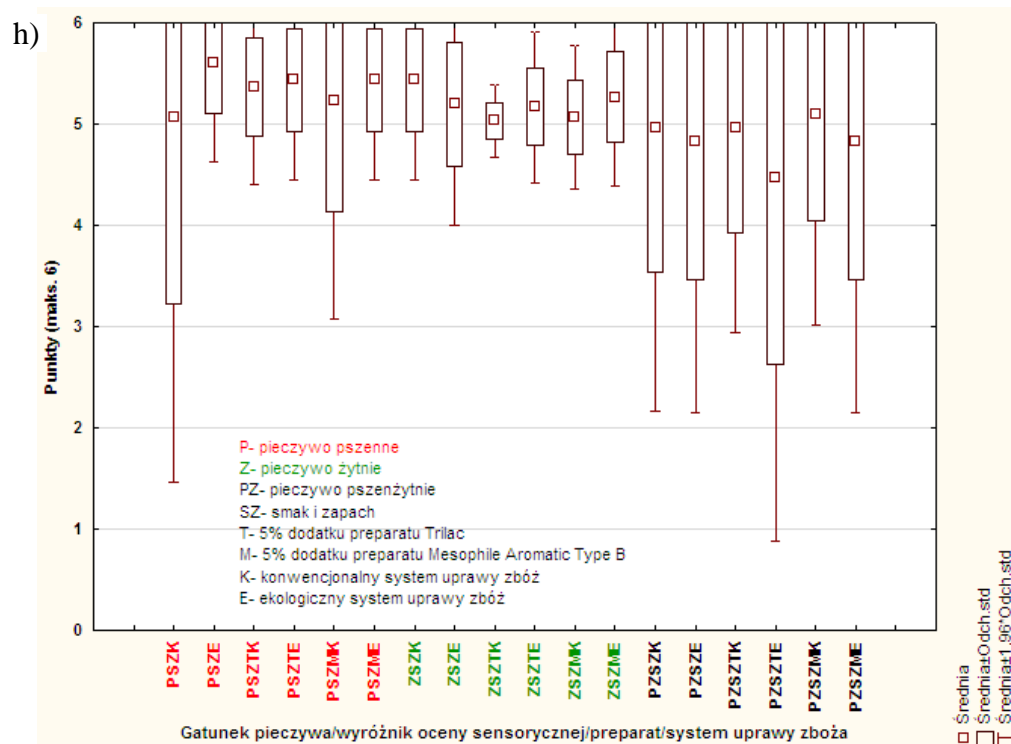
Rysunek 12. Podstawowe wyróżniki oceny sensorycznej: b) barwa skórki; c) grubość skórki



Rysunek 12. Podstawowe wyróżniki oceny sensorycznej: d) pozostałe cechy skórki; e) porowatość miększu



Rysunek 12. Podstawowe wyróżniki oceny sensorycznej: f) elastyczność miękiştu; g) pozostałe cechy miękiştu



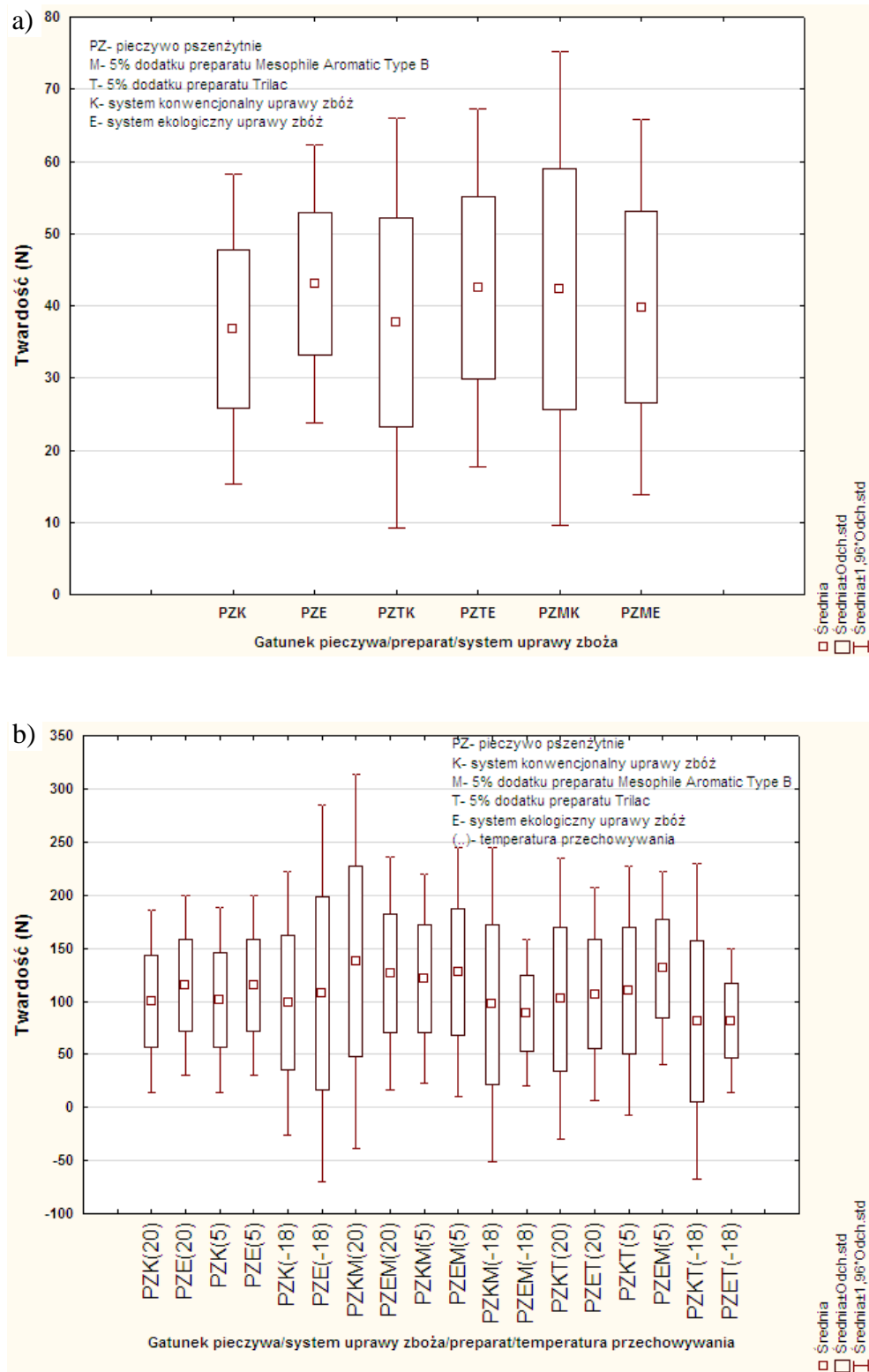
Rysunek 12. Podstawowe wyróżniki oceny sensorycznej: h) smak i zapach

## 4.4. Test TPA

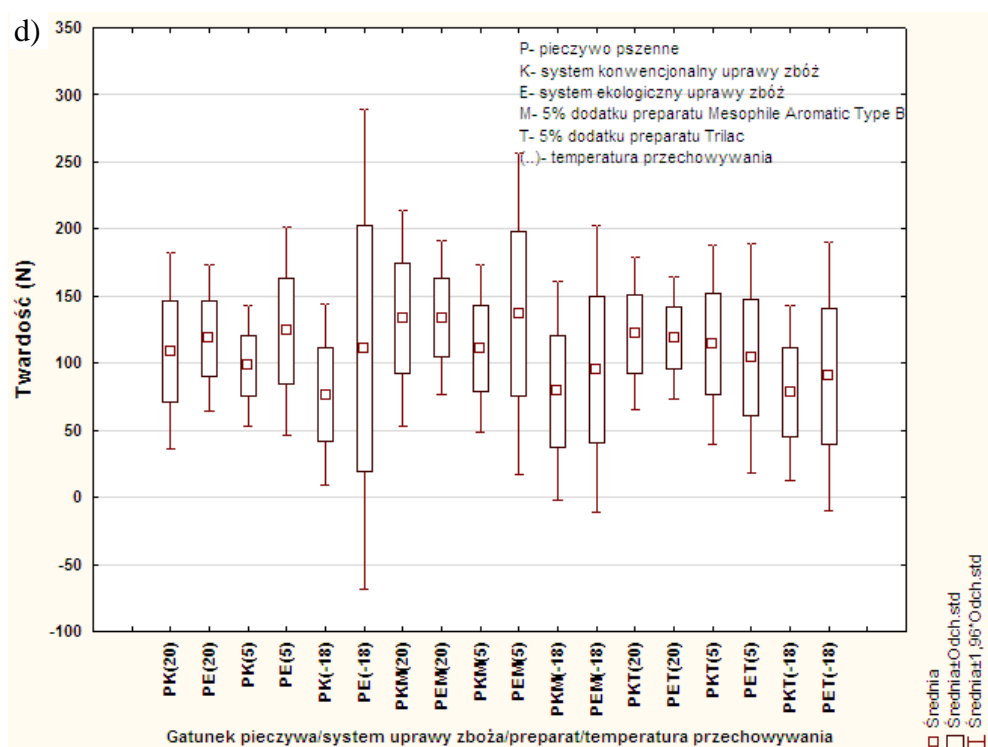
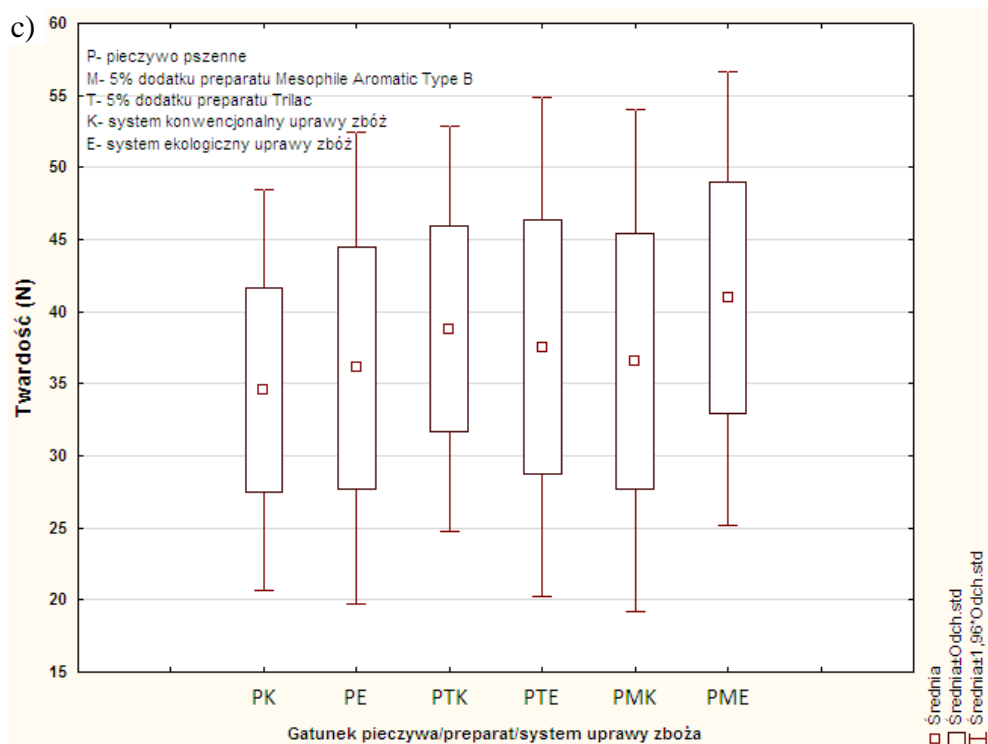
### 4.4.1. Twardość

Twardość otrzymanego pieczywa pszenżytniego oscylowała w granicach 40 N (rysunek 13). System uprawy zwiększał twardość produktu pszenżytniego kontrolnego. Jedyne dodatki preparatu Mesophile Aromatic Type B powodował spadek wartości omawianego parametru, aczkolwiek wynik był nieistotny w odniesieniu do pieczywa pszenżytniego kontrolnego. Proces przechowywania sam w sobie powodował wzrost twardości pieczywa pszenżytniego średnio o 120%. Analiza wyników dowiodła jednak, że temperatura przechowywania nie wpływała istotnie na twardość. Jedyne przetrzymywanie w temperaturze chłodniczej powodowało niekiedy wystąpienie zmian mikrobiologicznych, co dyskwalifikowało produkt. Natomiast warunki chłodnicze oddziaływały istotnie na twardość pozostałych gatunków pieczywa. Stwierdzono również korelację zachodzącą pomiędzy gatunkiem pieczywa a działaniem preparatów starterowych fermentacji mlekowej, które nieistotnie obniżały twardość pieczywa.

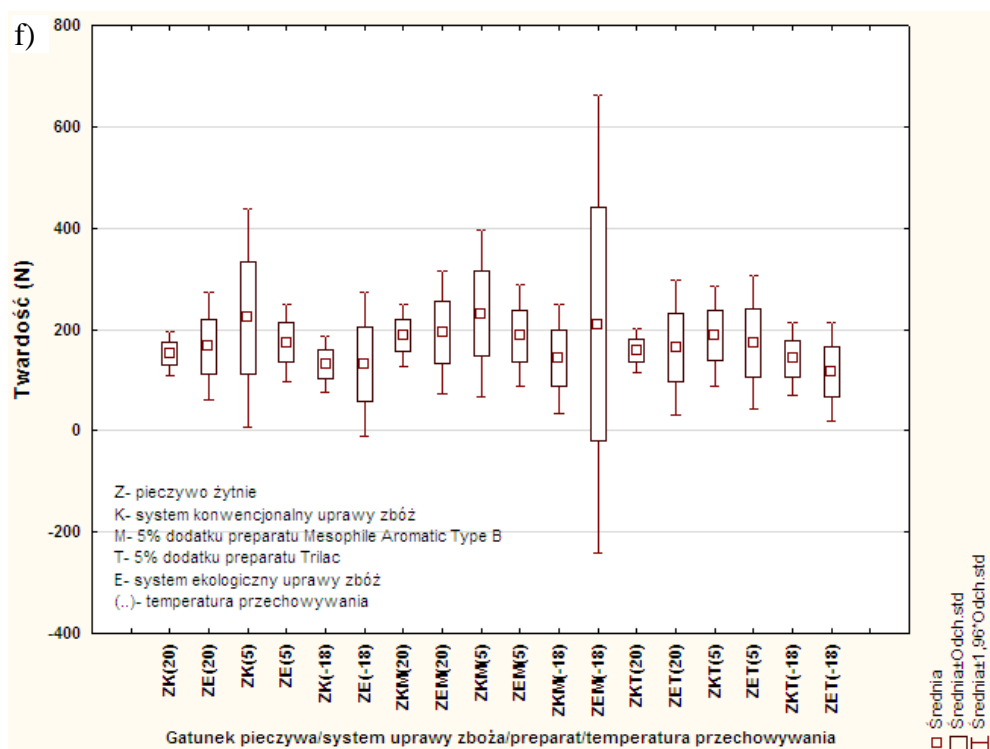
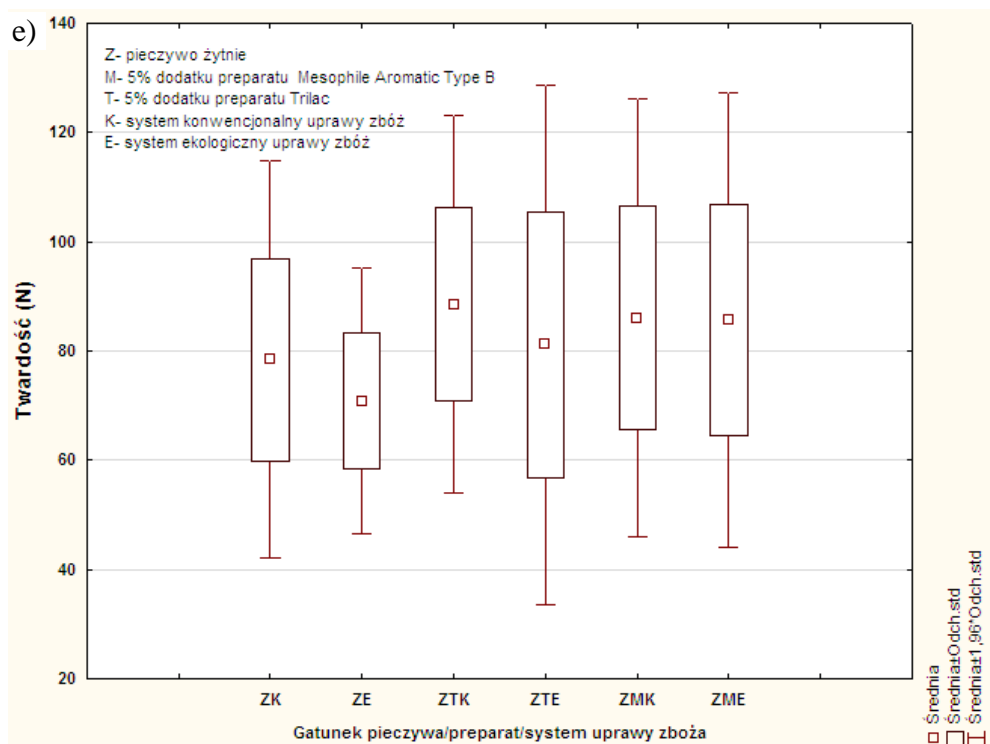
Twardość pieczywa zależała od jego objętości oraz porowatości (rysunek 14). W przypadku pieczywa psennego najwyższą twardość uzyskiwano przy wyższych wartościach porowatości i objętości. Podobny trend zanotowano dla pieczywa żytniego, jednak był on zauważalny przy twardości o 40% wyższej niż dla pieczywa psennego. W przypadku pieczywa pszenżytniego najwyższą twardością charakteryzowało się pieczywo o najwyższej objętości i najniższej porowatości, a wartości pośrednie obniżały twardość średnio o 10%.



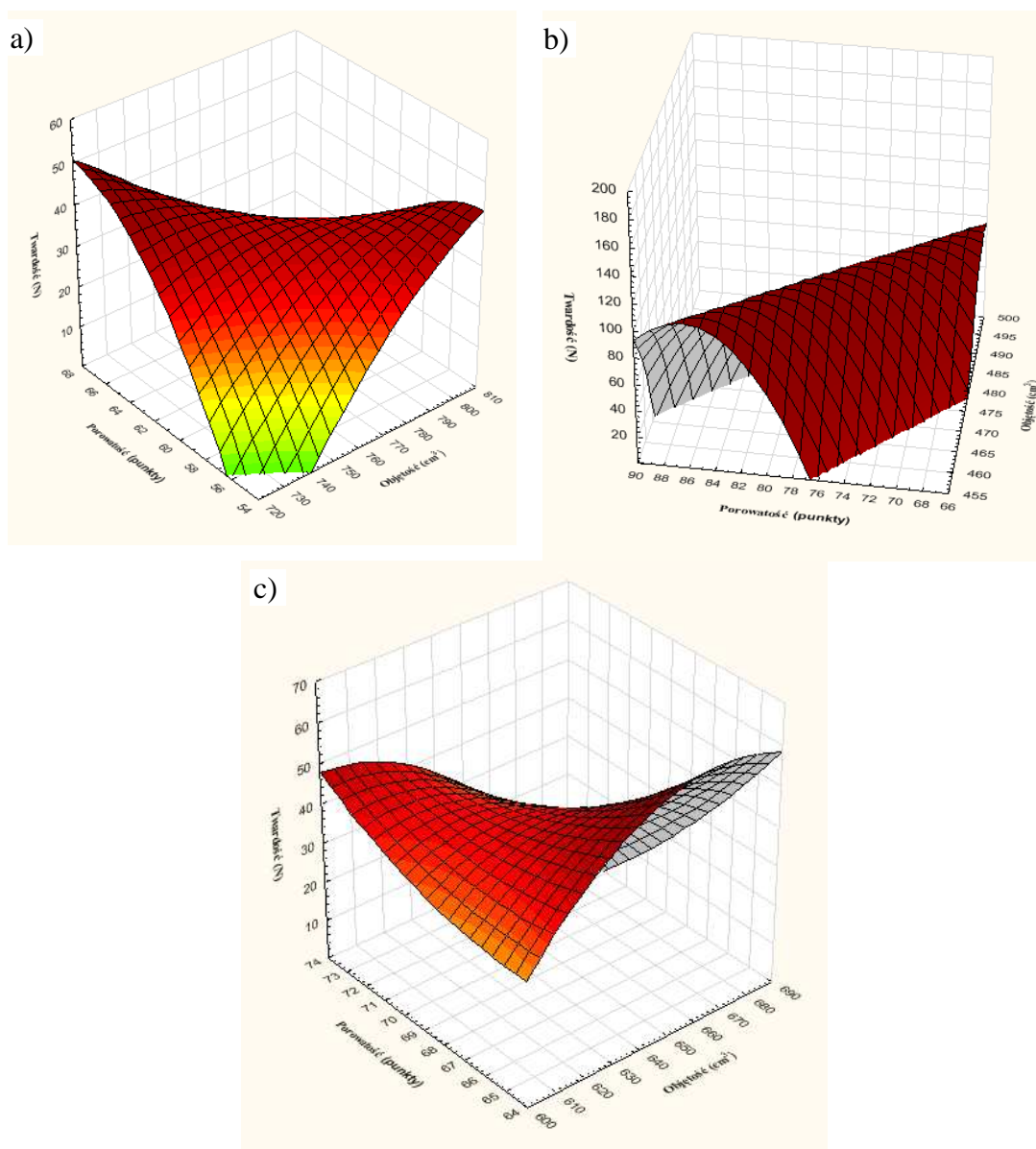
Rysunek 13. Zróźnicowanie twardości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: a) pieczywo pszenżytnie; b) pieczywo pszenżytnie (test przechowalniczy)



Rysunek 13. Zróżnicowanie twardości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: c) pieczywo pszenne; d) pieczywo pszenne (test przechowalniczy)



Rysunek 13. Zróżnicowanie twardości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: e) pieczywo żytnie; f) pieczywo żytnie (test przechowalniczy)



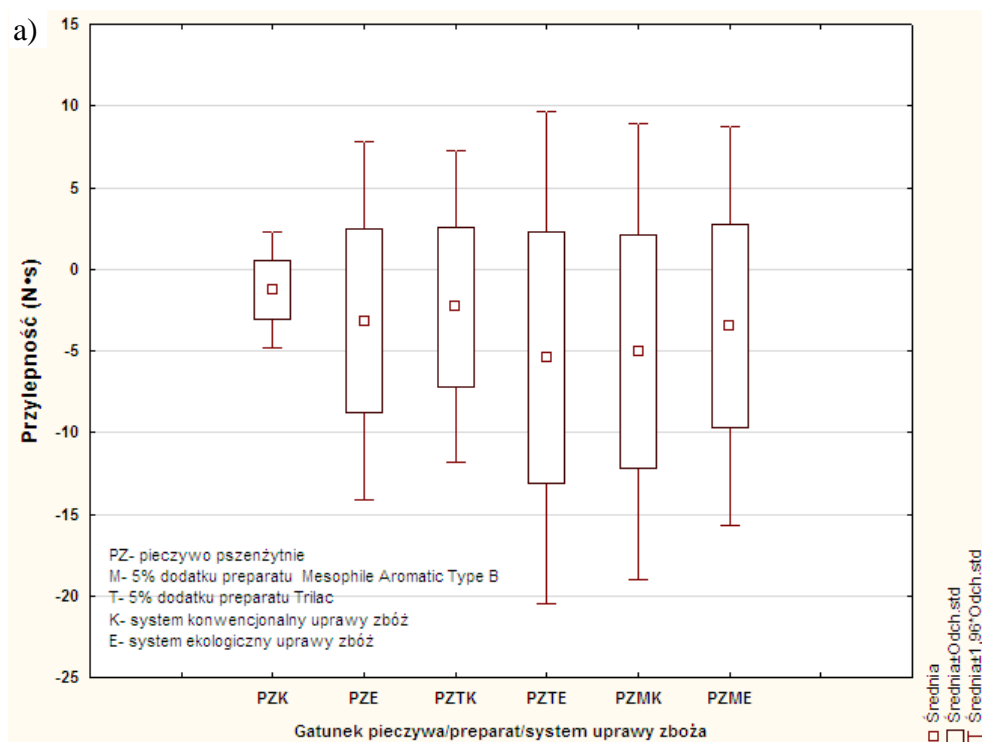
Rysunek 14. Wpływ porowatości i objętości na twardość pieczywa: a) pszennego; b) żytniego; c) pszenżytniego

#### 4.4.2. Przylepność

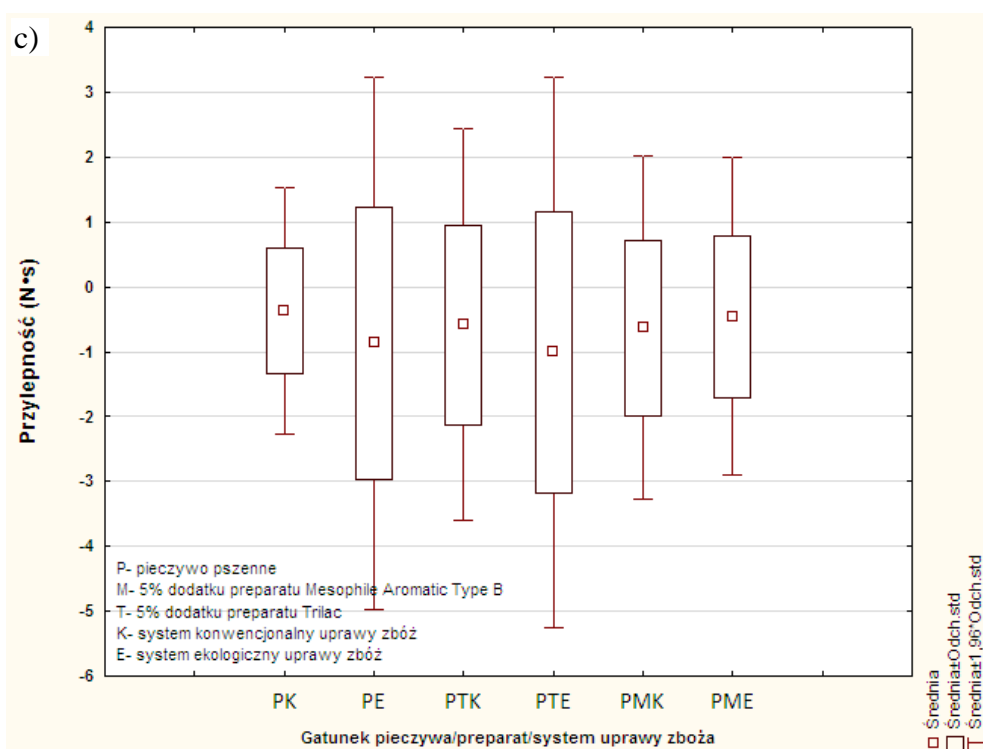
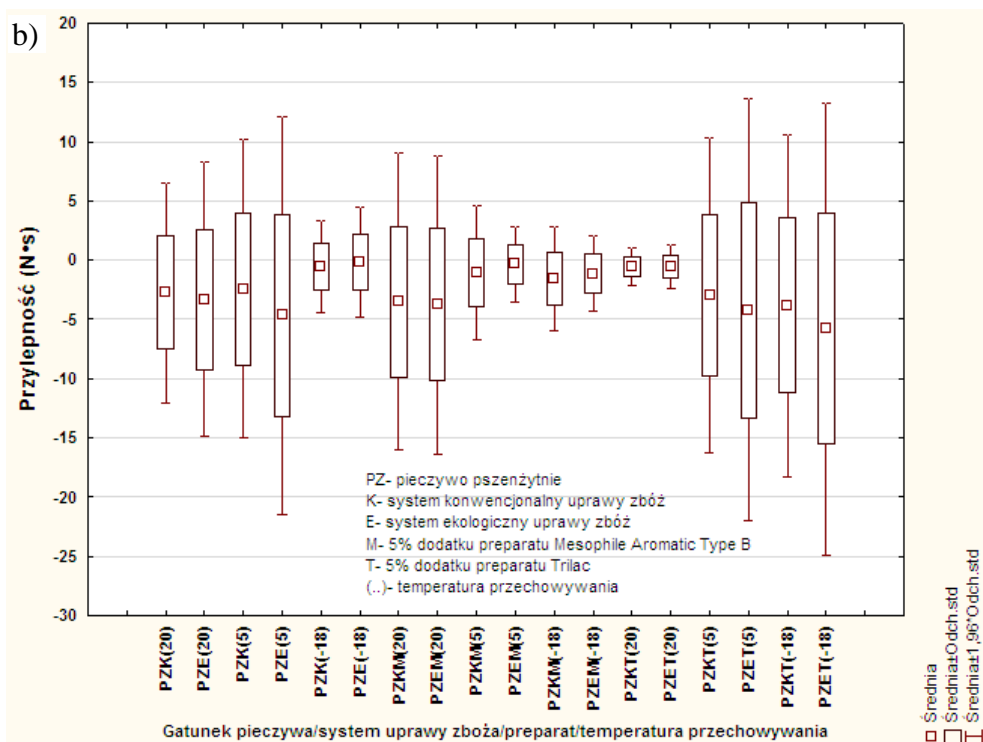
Przylepność w teście TPA jest określana jako ujemna siła występująca w ruchu powrotnym trzpienia po pierwszym uderzeniu w teście podwójnego ściskania. Z technologicznego punktu widzenia może ona przedstawiać potencjalne dodatkowe opory urządzeń tnących podczas krojenia. Najniższą średnią przylepnością charakteryzowało się pieczywo pszenżytnie (rysunek 15). Wyniosła ona średnio  $-4,5 \text{ N} \cdot \text{s}$ . Ekologiczny system uprawy zbóż wpływał negatywnie na średnią przylepność miększu pieczywa pszenżytniego, a forma ekologiczna z dodatkiem preparatu Trilac istotnie różniła się od wszystkich badanych przypadków przy założonym poziomie istotności ( $\alpha \leq 0,05$ , test Tukeya oraz Scheffego). Podobny wynik zanotowano w przypadku konwencjonalnego systemu uprawy pszenżyta i dodatku



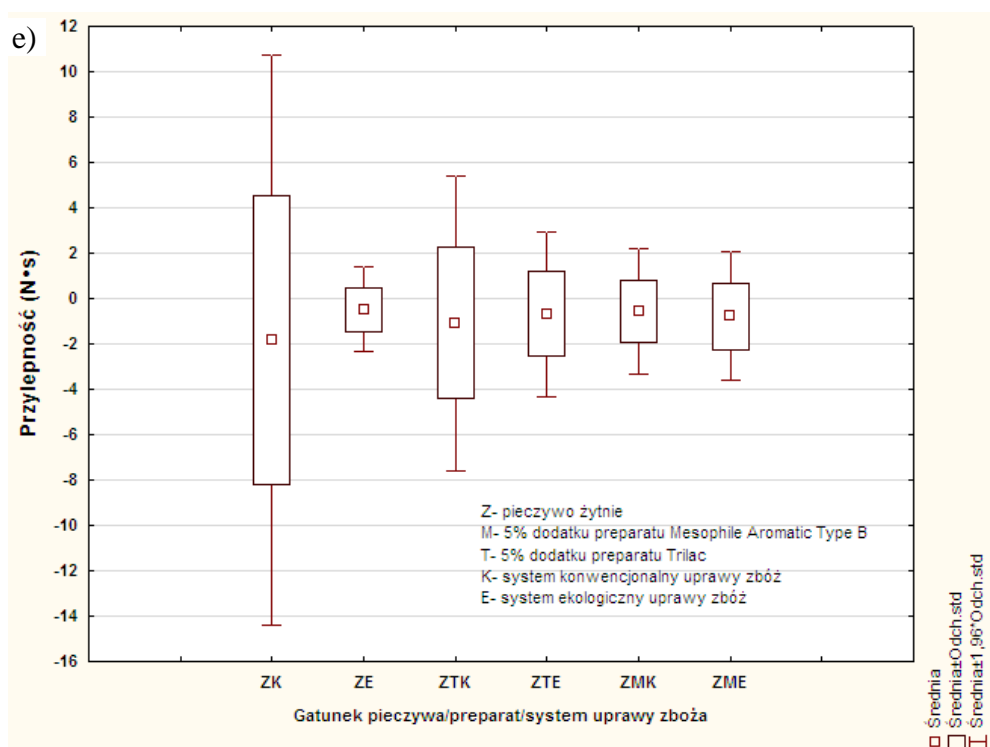
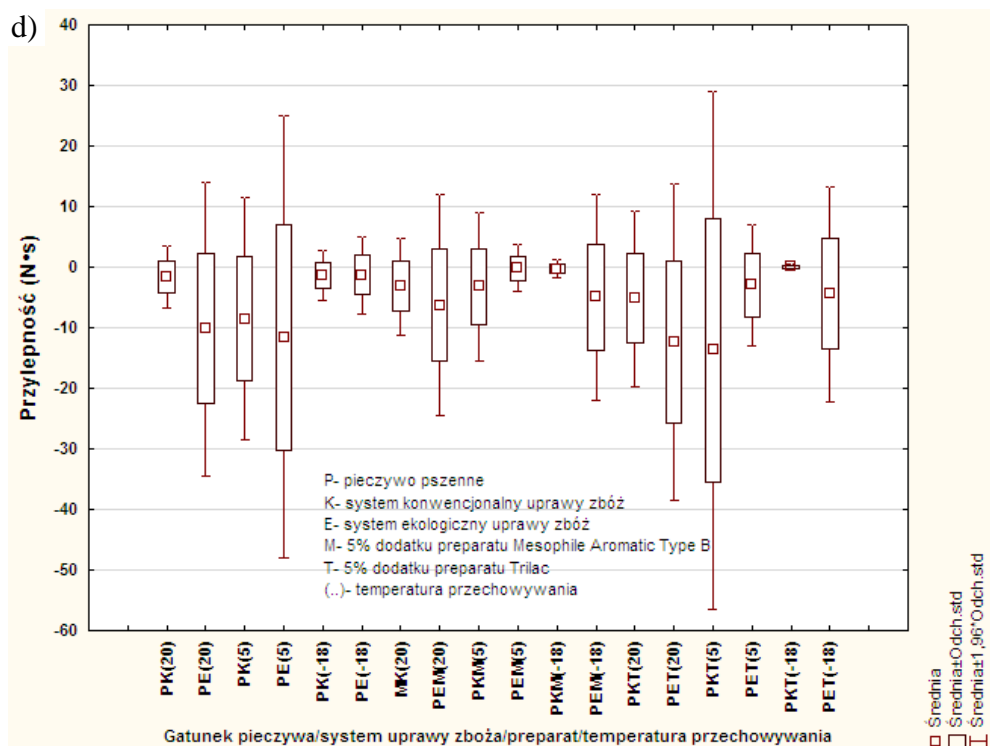
preparatu Mesophile Aromatic Type B. Najniższą przylepność miękisz pieczywa pszenżytniego osiągnął dla chleba bez dodatku preparatów bakterii kwasu mlekowego, otrzymanego z mąki konwencjonalnej. Średnia przylepność miękiszu pieczywa pszennego oscylowała w przedziale od  $-1,0 \text{ N} \cdot \text{s}$  do  $-0,5 \text{ N} \cdot \text{s}$ , a pieczywa żytniego wyniosła  $-1 \text{ N} \cdot \text{s}$ . Analizując dane pod kątem wpływu dodatku konkretnego preparatu, stwierdzono obniżenie przylepności miękiszu pieczywa po dodaniu preparatu Mesophile Aromatic Type B, najwyższe dla miękiszu pieczywa pszenżytniego oraz pszennego. W przypadku preparatu Trilac nieistotne polepszenie przylepności pieczywa ekologicznego odnotowano dla miękiszu pieczywa żytniego. W przypadku braku modyfikacji preparatem forma ekologiczna mąki powodowała zwiększenie przylepności miękiszu pieczywa pszennego oraz pszenżytniego. Można zauważyć trend spadkowy wartości przylepności w miarę postępu czasu przechowywania, ściśle skorelowany ze starzeniem pieczywa. Analizując dane, można nie uwzględniać przechowywania chłodniczego, gdyż wpływ retrogradacji skrobi był wyraźnie zauważalny. W przypadku świeżego pieczywa pszenżytniego siła ta była najwyższa, jednakże dodatek starterów fermentacji mlekowej powodował jej obniżenie. W układzie przylepność-wilgotność-porowatość w przypadku pieczywa pszennego maksimum przylepności występowało dla wyższej porowatości i pośredniej wilgotności (około 43,8%). W przypadku pieczywa żytniego najwyższą przylepnością charakteryzowały się wyroby o wysokiej wilgotności i porowatości, a w przypadku pieczywa pszenżytniego – wypieki o wysokiej wilgotności i niskiej porowatości lub o wysokiej porowatości i niskiej wilgotności miękiszu (rysunek 16).



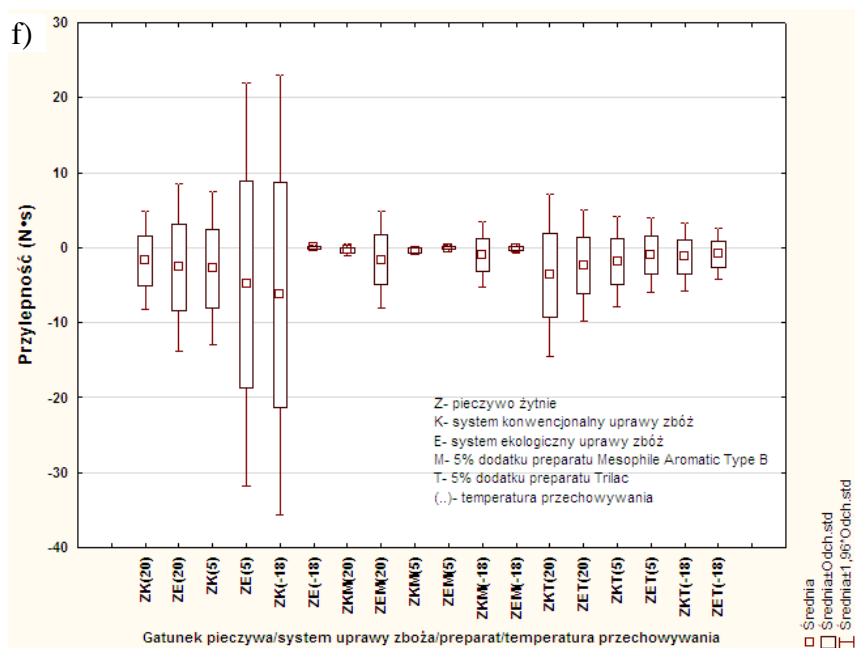
Rysunek 15. Zróżnicowanie przylepności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: a) pieczywo pszenżytnie



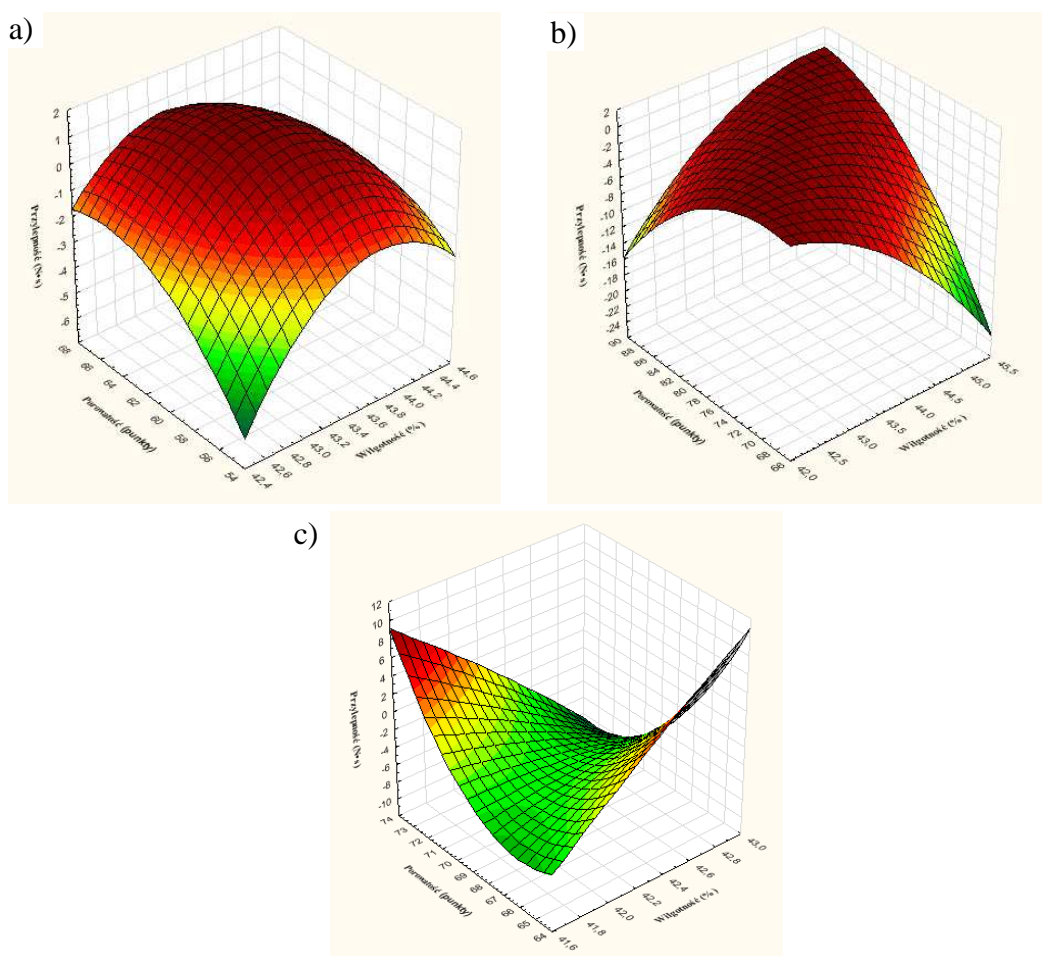
Rysunek 15. Zróżnicowanie przylepności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: b) pieczywo pszenżytnie (test przechowalniczy); c) pieczywo pszenne



Rysunek 15. Zróżnicowanie przylepności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: d) pieczywo pszenne (test przechowalniczy); e) pieczywo żytnie



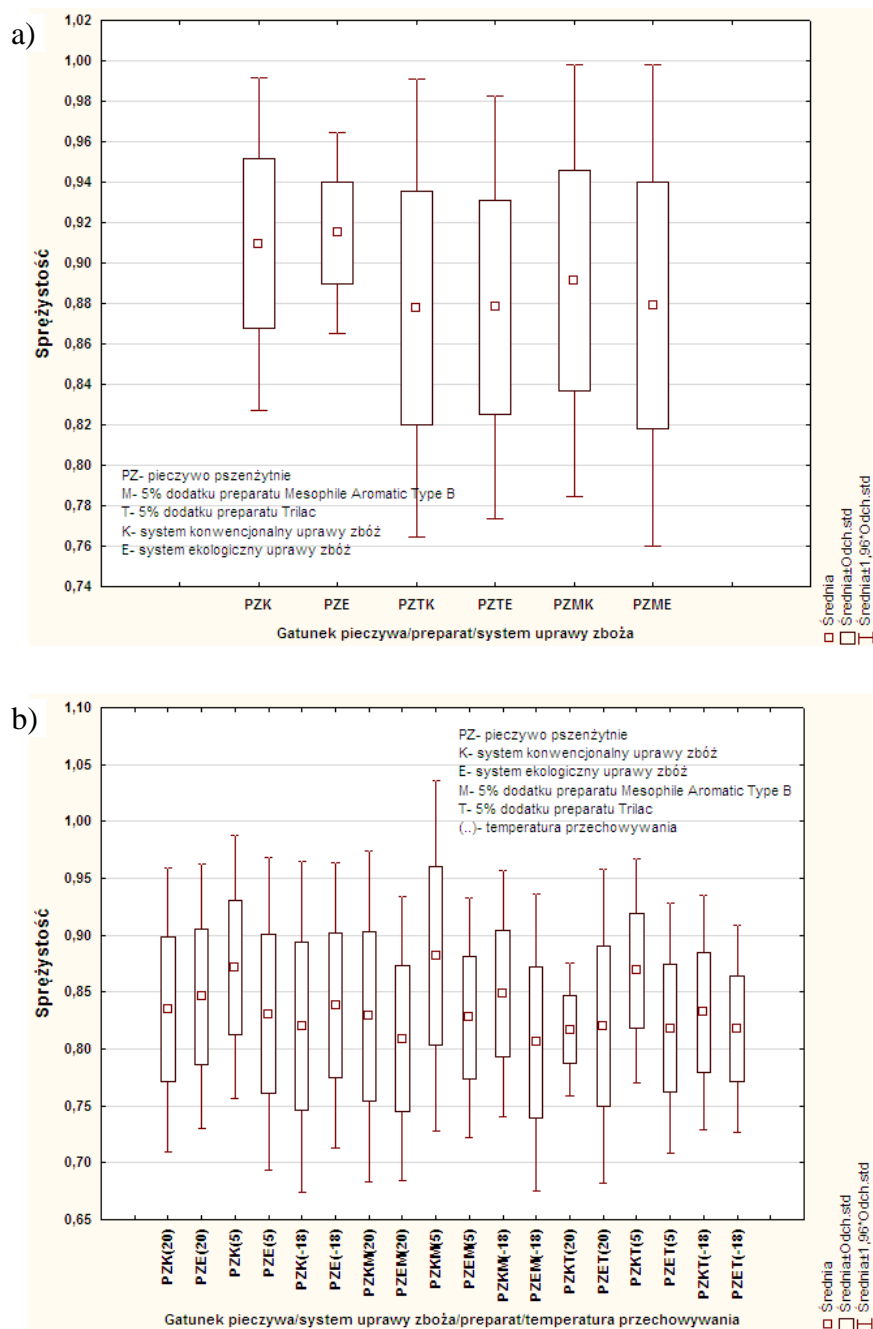
Rysunek 15. Zróżnicowanie przylepności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: f) pieczywo żytnie (test przechwalniczy)



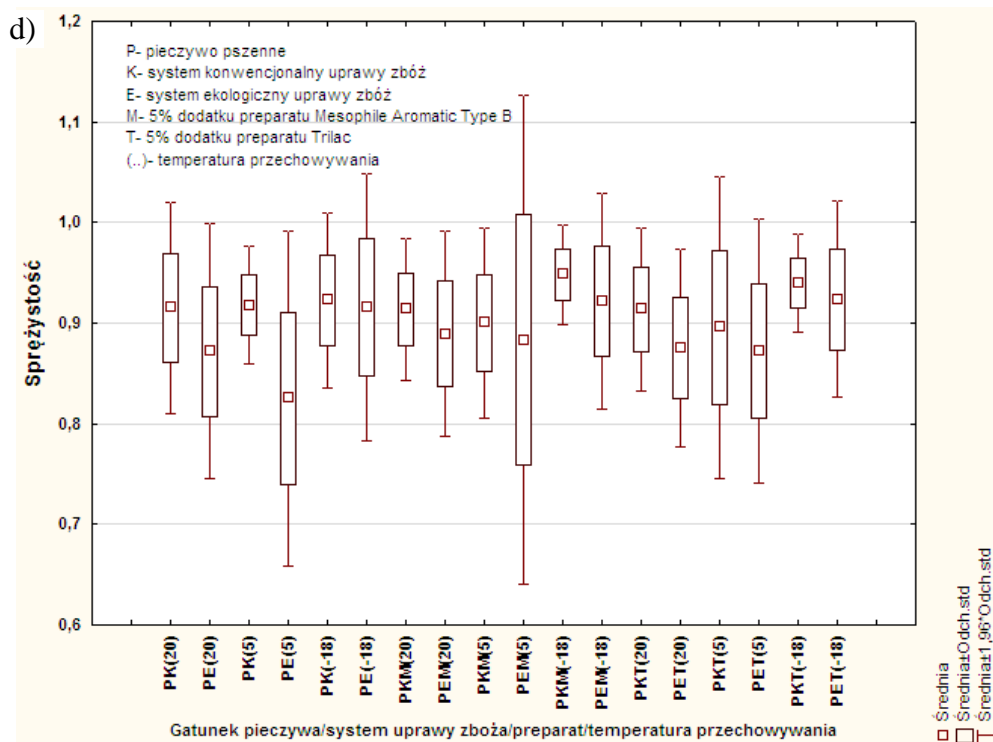
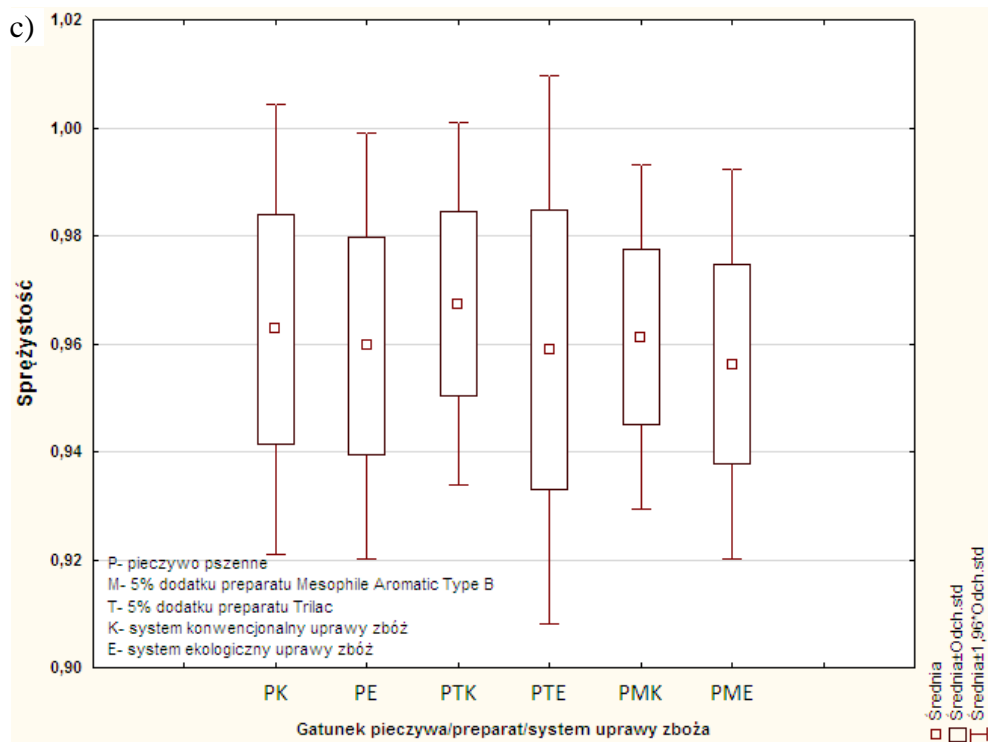
Rysunek 16. Wpływ wilgotności i porowatości miększu na przylepność pieczywa: a) pszennego; b) żytniego; c) pszenżytniego

### 4.4.3. Sprężystość

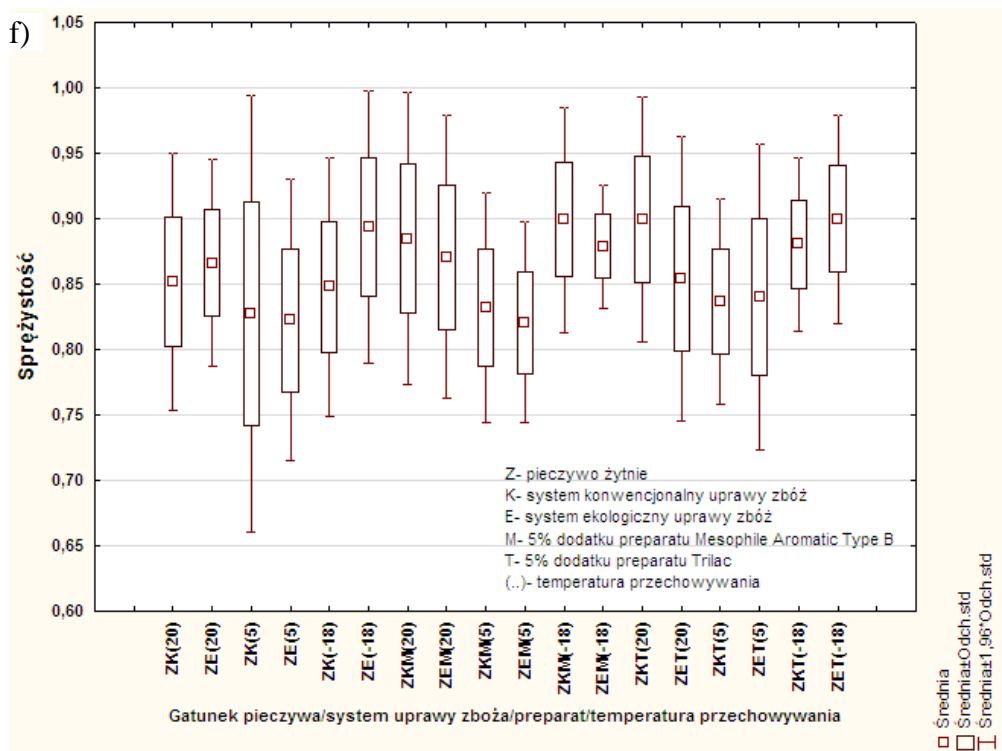
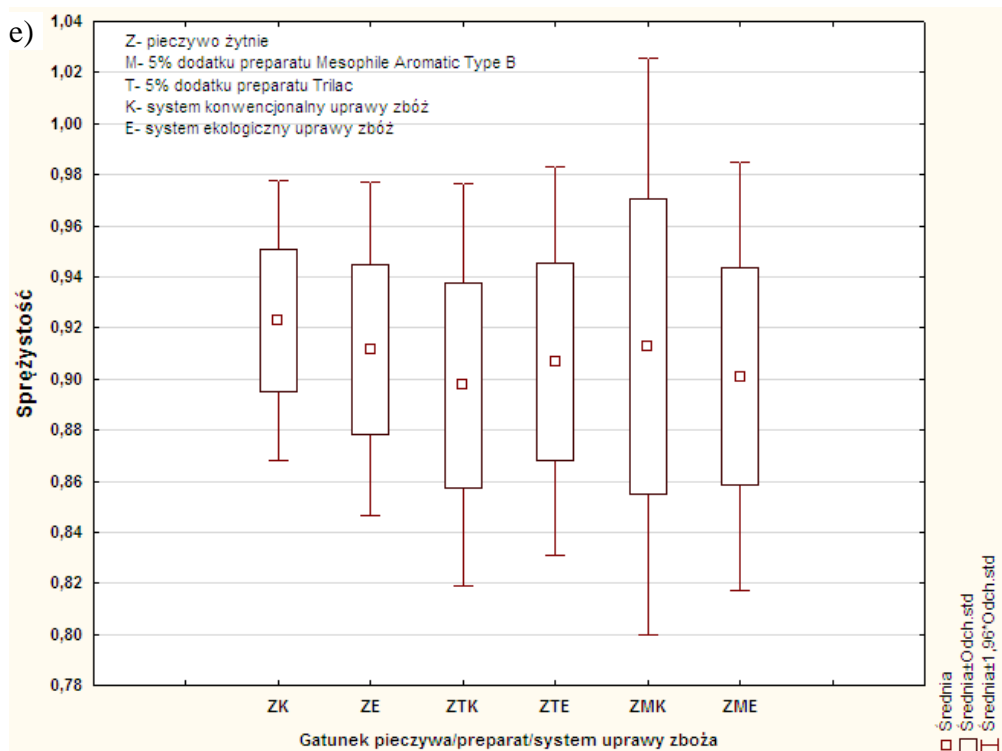
Sprężystość, analizowana zarówno w zależności od sposobu uprawy, jak i dodatku preparatów kwasu mlekowego, istotnie różnicowała (test Tukeya i Scheffego,  $p \leq 0,05$ ) pieczywo pszenne (kontrola) i pozostałe gatunki. Dla pieczywa żytniego, jak i pszenżytniego uzyskano średnio o 5–10% niższe wartości tego parametru niż dla pieczywa pszennego (rysunek 17). Testy przechowalnicze wykazały nieistotny negatywny wpływ przechowywania na sprężystość pieczywa pszenżytniego, co może obniżać jego właściwości relaksacyjne po procesie przechowywania.



Rysunek 17. Zróżnicowanie sprężystości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: a) pieczywo pszenżytnie; b) pieczywo pszenne (test przechowalniczy)



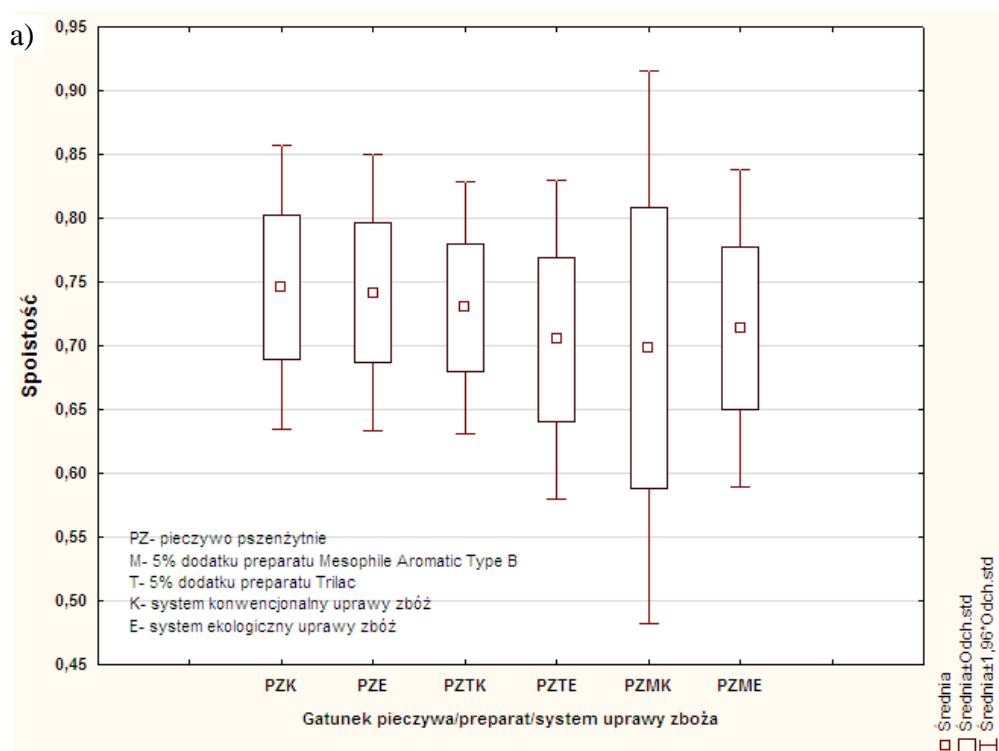
Rysunek 17. Zróżnicowanie sprężystości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: c) pieczywo pszenne; d) pieczywo pszenne (test przechowalniczy)



Rysunek 17. Zróżnicowanie sprężystości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: e) pieczywo żytnie; f) pieczywo żytnie (test przechowalniczy)

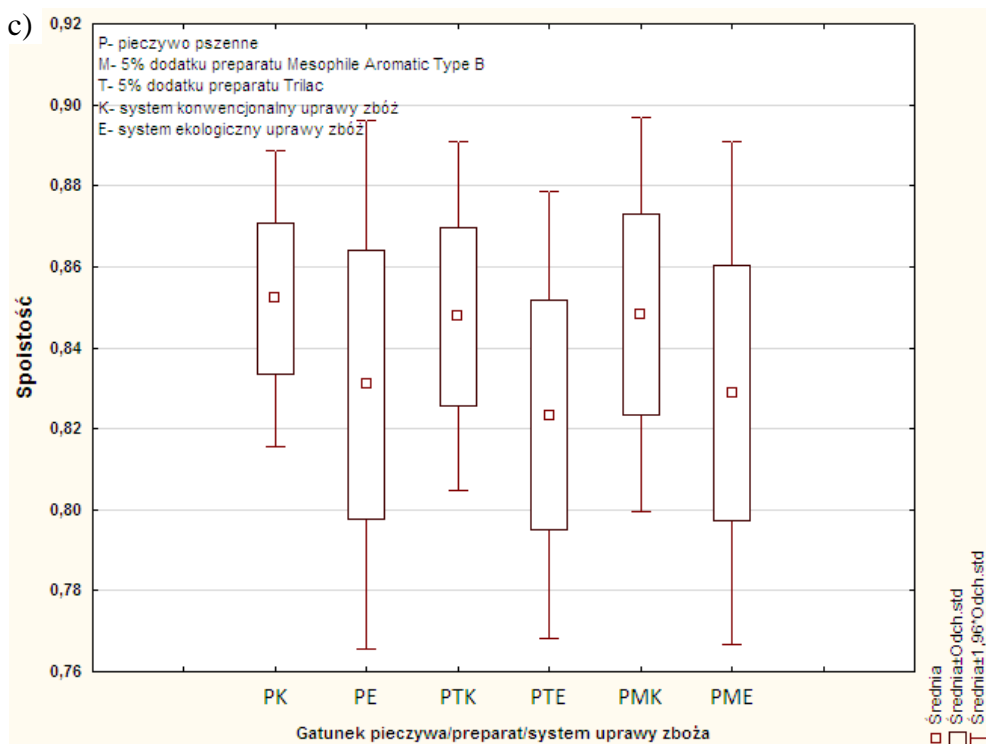
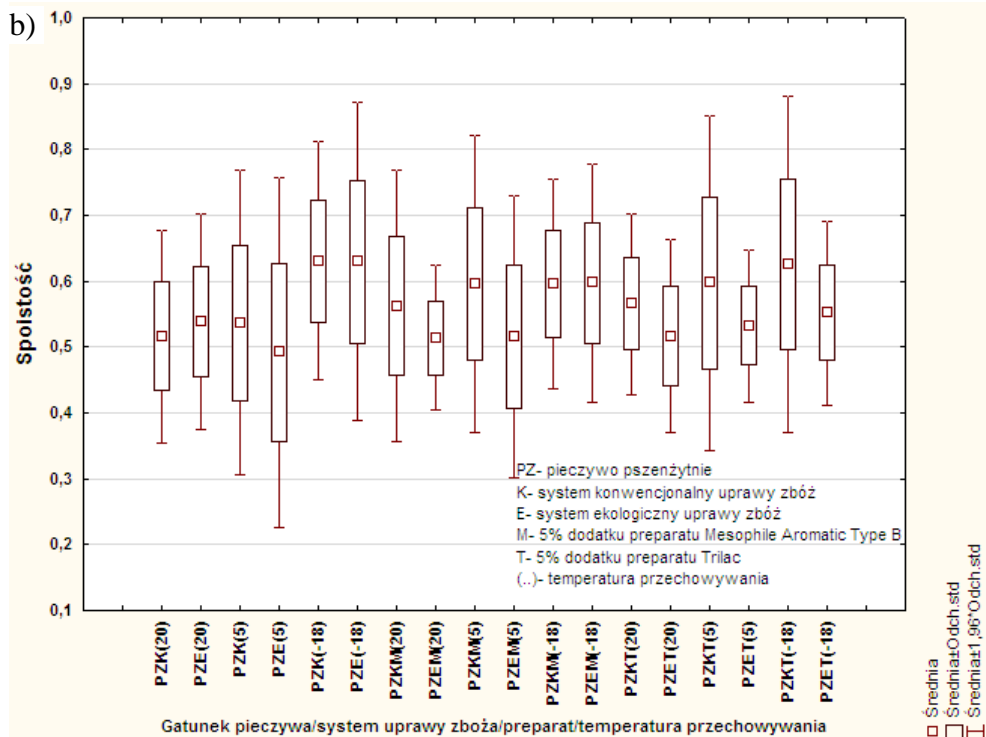
#### 4.4.4. Spoistość

Dodatek preparatów fermentacji mlekowej istotnie wpływał na spoistość pieczywa (rysunek 18). W przypadku preparatu Trilac najwyższą średnią spoistością charakteryzowało się pieczywo pszenne (0,96) w porównaniu z pieczywem żytnim (0,74) i pszenżytnim (0,71). Największą spoistością cechowało się pieczywo pszenne (0,98) z mąki konwencjonalnej, najmniejszą zaś pieczywo pszenżytnie (0,81) z mąki ekologicznej. Pieczywo pszenżytnie istotnie różniło się spoistością od pozostałych (test Tukeya przy  $p < 0,05$ ). Najmniejsze istotne różnice odnotowano dla pieczywa żytniego i pszenżytniego z mąki konwencjonalnej. W przypadku preparatu Mesophile Aromatic Type B i pieczywa żytniego najmniejszą minimalną spoistością charakteryzowało się pieczywo z mąk konwencjonalnych. Wśród wyrobów pszenżytnich najmniejszą spoistością odznaczało się pieczywo z mąki konwencjonalnej.

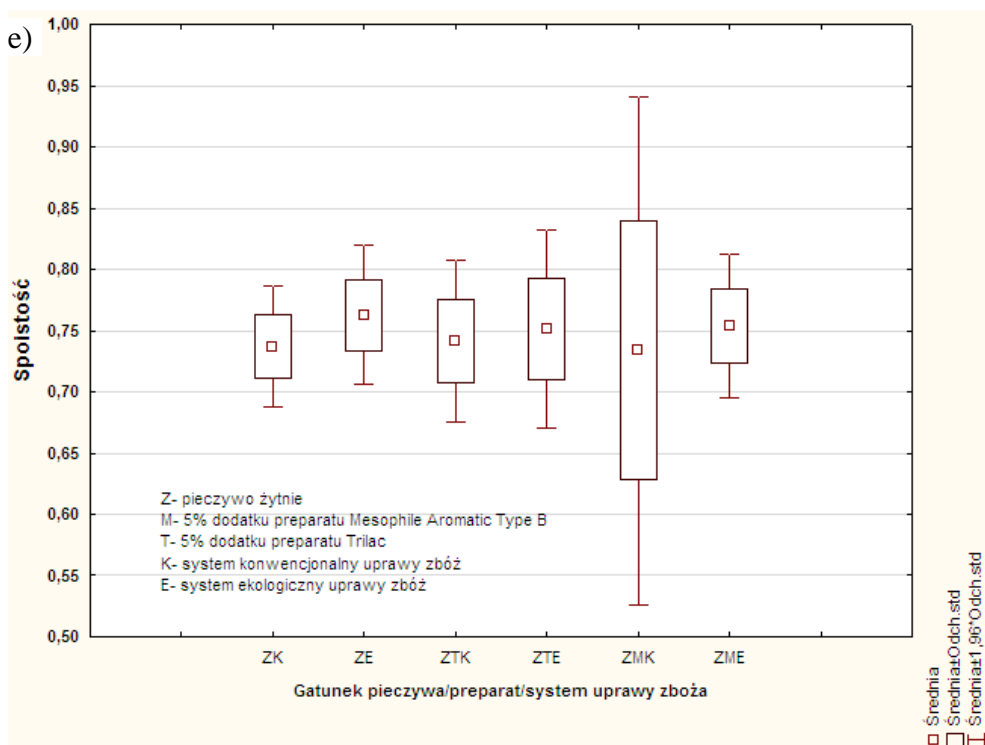
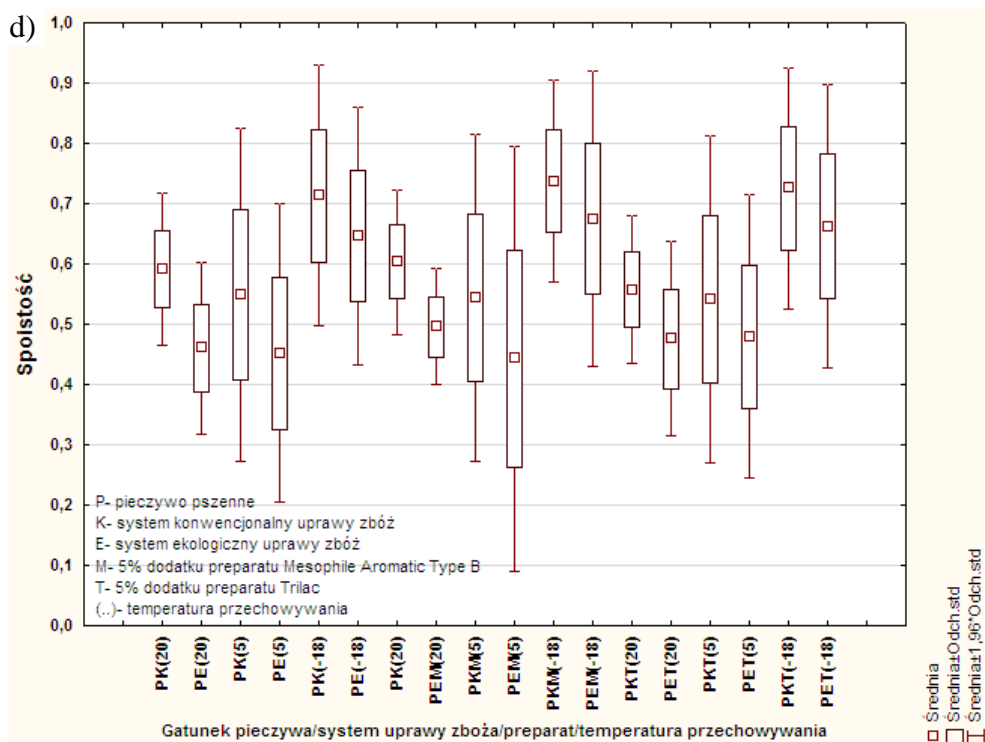


Rysunek 18. Zróżnicowanie spoistości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: a) pieczywo pszenżytnie

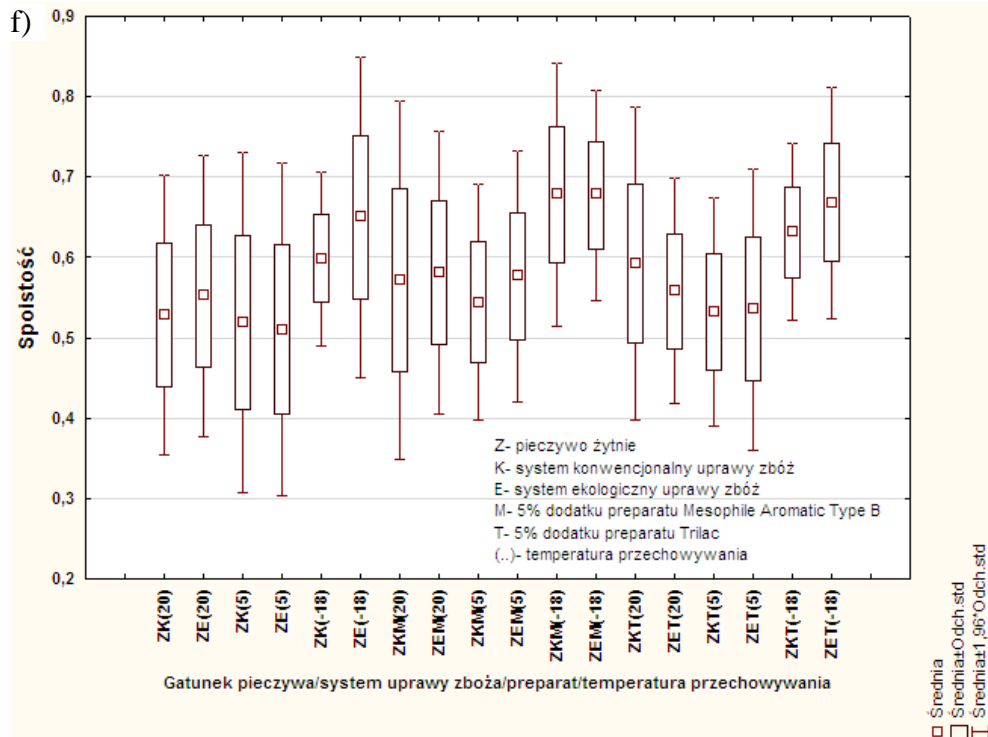




Rysunek 18. Zróżnicowanie spolistości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: b) pieczywo pszenżytnie (test przechowalniczy); c) pieczywo pszenne



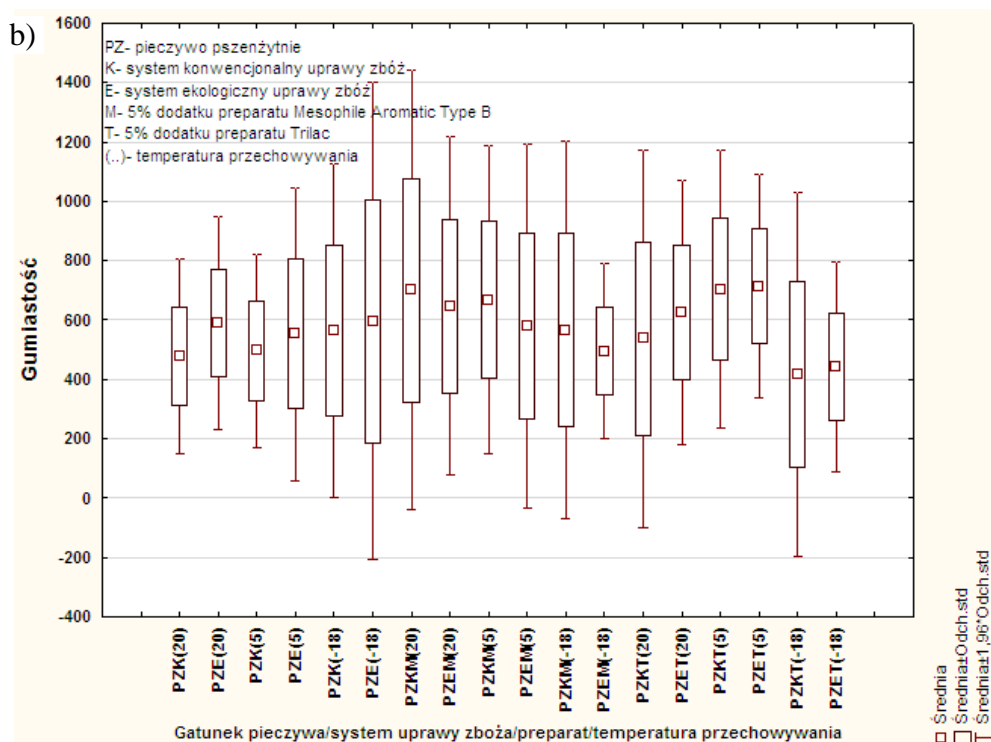
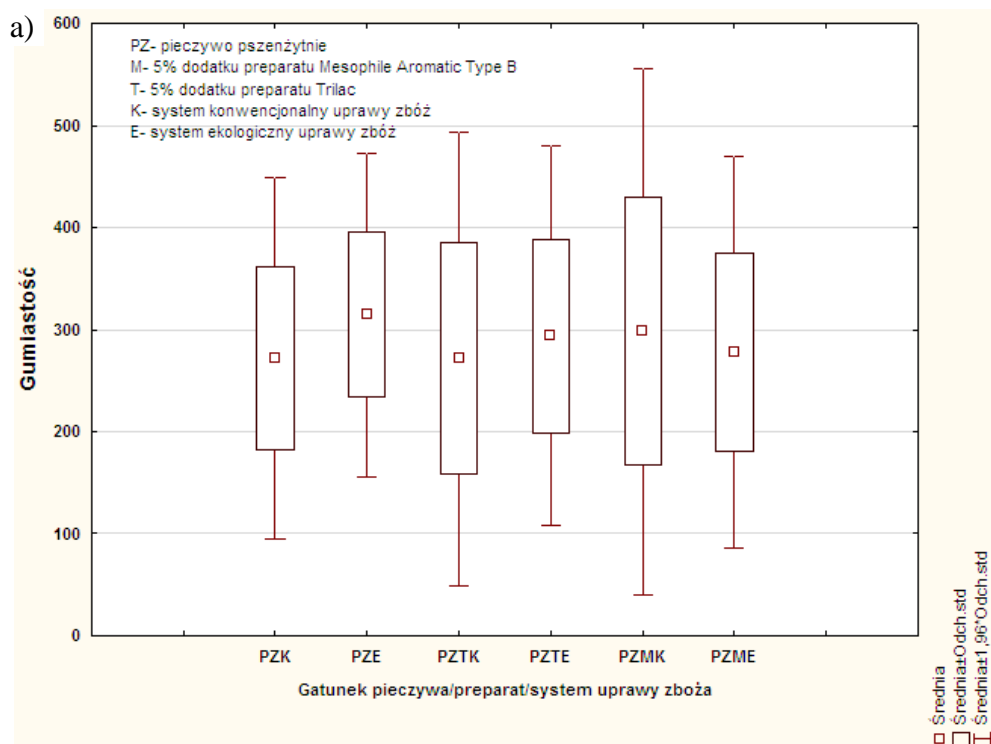
Rysunek 18. Zróżnicowanie spoistości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: d) pieczywo pszenne (test przechwalniczy); e) pieczywo żytnie



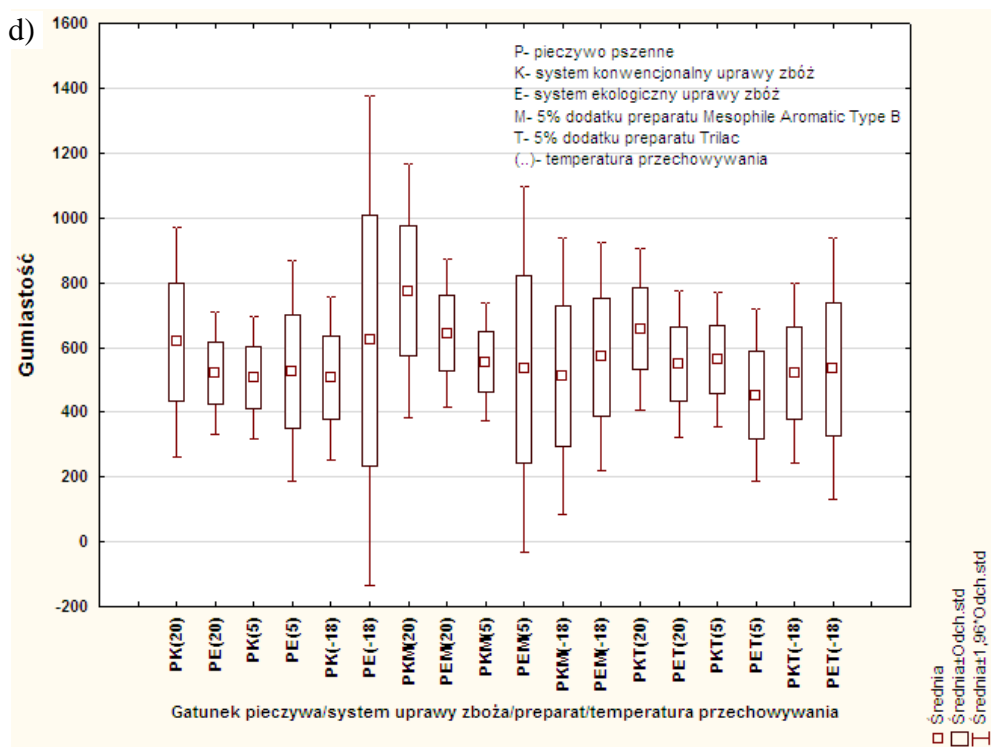
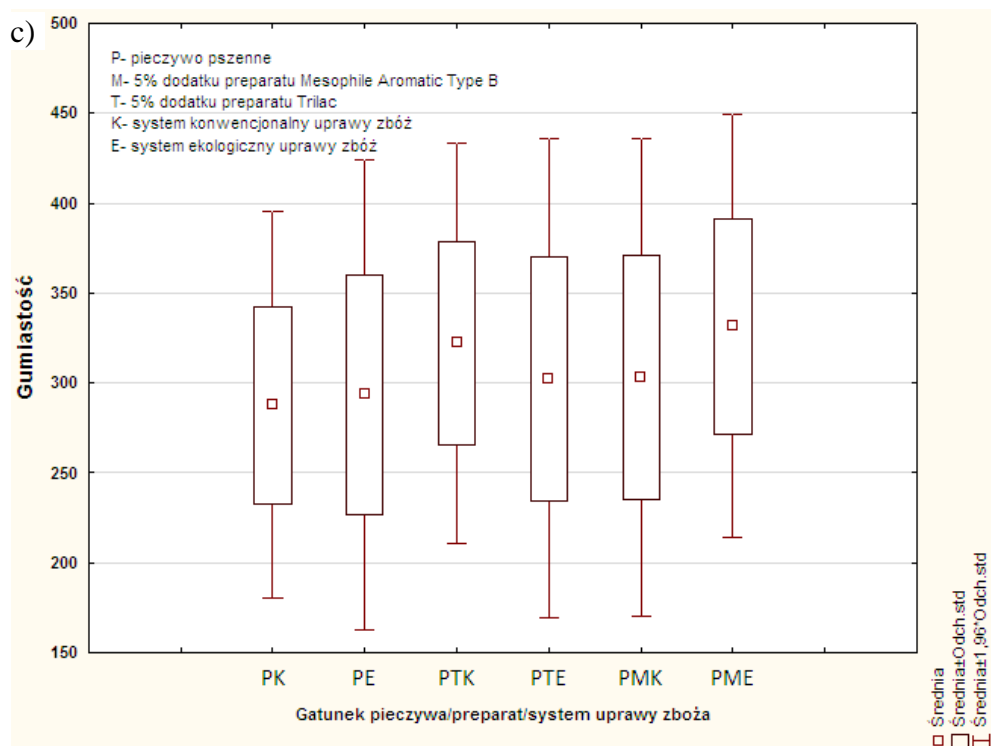
Rysunek 18. Zróznicowanie spoistości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: f) pieczywo żytnie (test przechowalniczy)

#### 4.4.5. Gumiastość

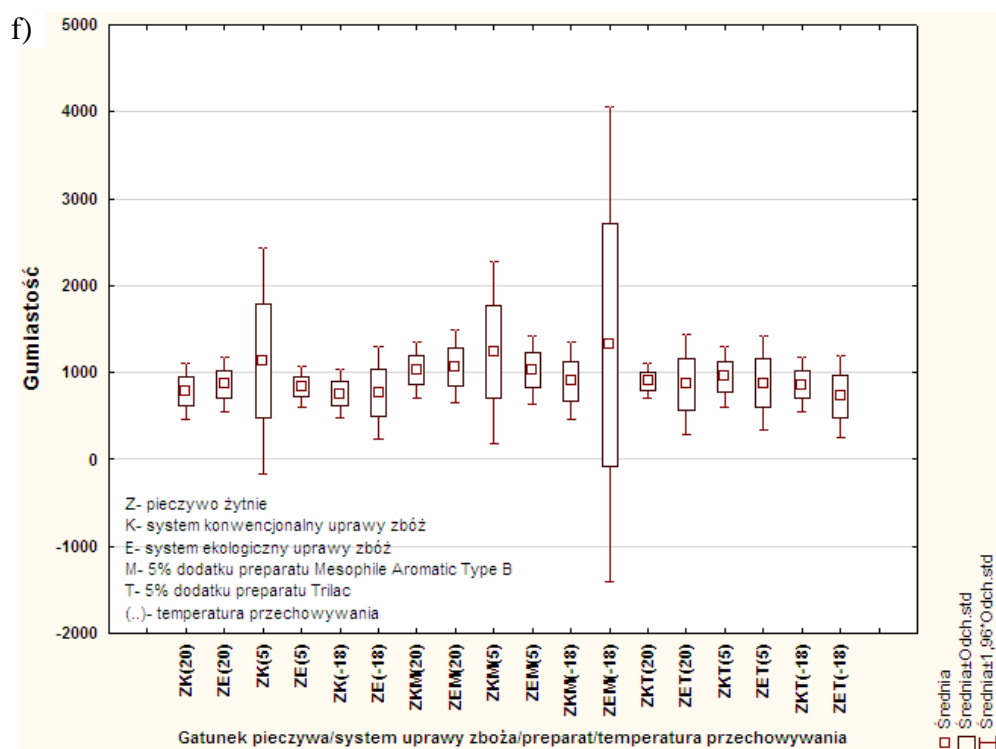
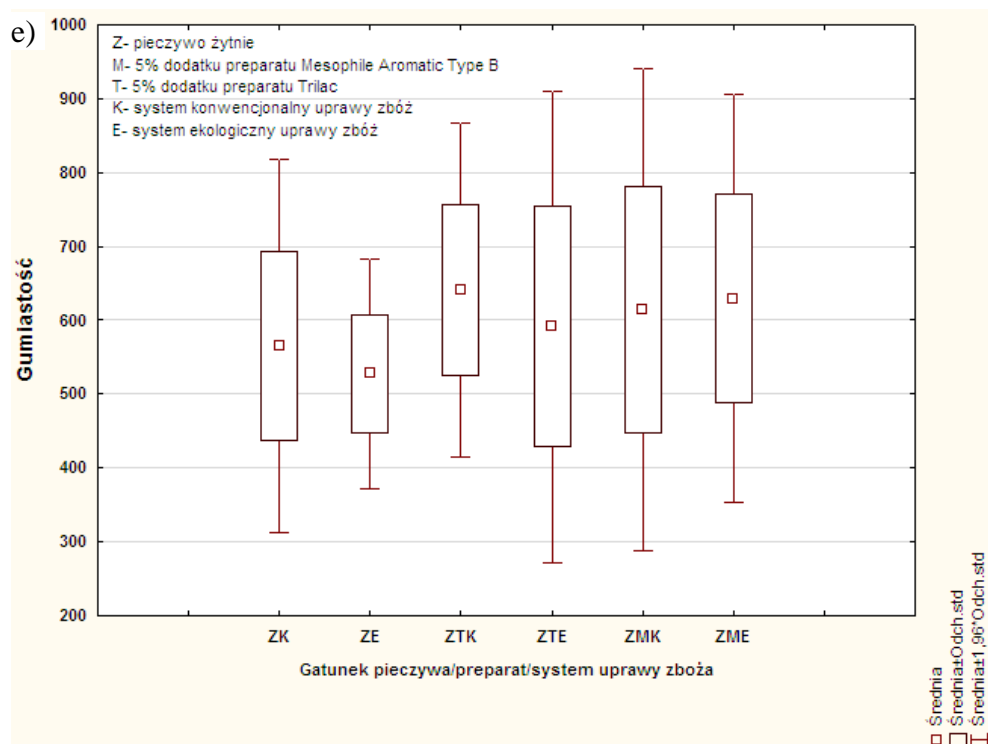
Gumiastość produktu często jest określana wielkością rozprężenia materiału badanego po drugim uderzeniu i wyrażana iloczynem twardości produktu i przylepności. Pieczywo kontrolne z mąki ekologicznej, z dodatkiem startera Mesophile Aromatic Type B istotnie różniło się gumiastością od pozostałych próbek. Pieczywo żytnie determinował konwencjonalny system uprawy oraz dodatek preparatu Trilac (rysunek 19). Dla wyrobów pszenicznych nie odnotowano wpływu systemu uprawy zboża oraz dodatku preparatu na gumiastość pieczywa końcowego. Analizując średnie rezultaty testu, stwierdzono podobieństwo pieczywa pszenicznego do kontrolnego. Istotnie odbiegało jedynie pieczywo żytnie. Testy przechowalnicze wykazały istotną utratę gumiastości przez pieczywo pszenne z dodatkiem preparatu Mesophile Aromatic Type B, składowane w 20°C, oraz niekontrolowane zachowanie w warunkach zamrażalniczych pieczywa żytniego z dodatkiem tego samego preparatu. W przypadku pieczywa pszenicznego nie wykazano istotnych odchyłeń wyników podczas próby jego przechowywania w warunkach założonych w doświadczeniu. Średnie wyniki były podobne do rezultatów przechowalniczych dla pieczywa psennego, a rozrzut otrzymanych danych był bardziej wyrównany. Gumiastość pieczywa psennego rosła wraz ze wzrostem porowatości i wilgotności (43%) – rysunek 20. Niższa wilgotność i porowatość sprzyjała spadkowi gumiastości pieczywa psennego. W przypadku pieczywa żytniego minimum gumiastości występowało przy najniższych wartościach porowatości i wilgotności. Pieczywo pszeniczne najwyższą gumiastość osiągało przy najwyższej wilgotności i porowatości miękiszu (rysunek 20).



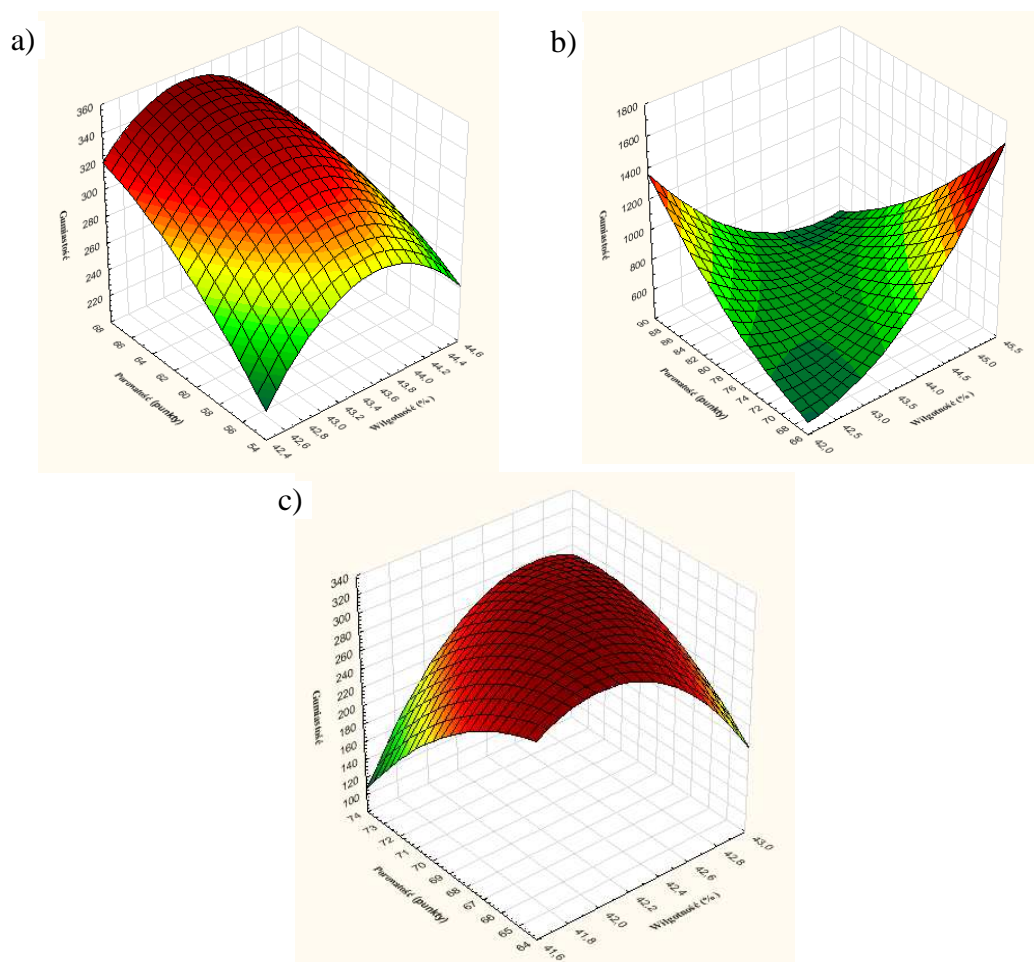
Rysunek 19. Zróżnicowanie gumiastości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: a) pieczywo pszenżytnie; b) pieczywo pszenżytnie (test przechowalniczy)



Rysunek 19. Zróżnicowanie gumiałości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: c) pieczywo pszenne; d) pieczywo pszenne (test przechowalniczy)



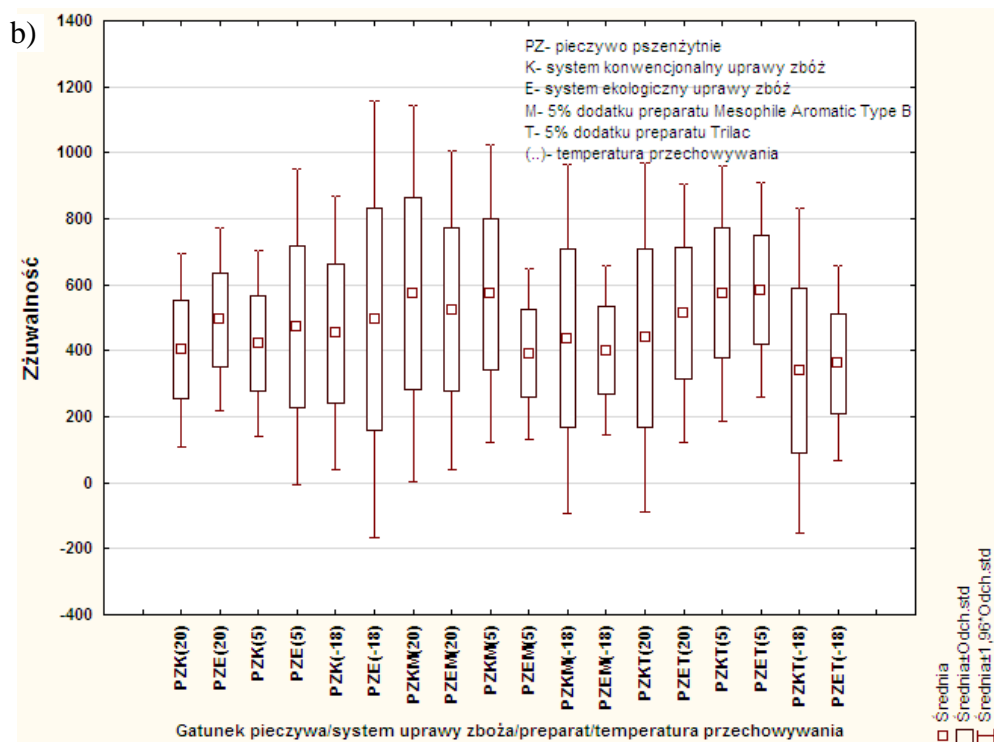
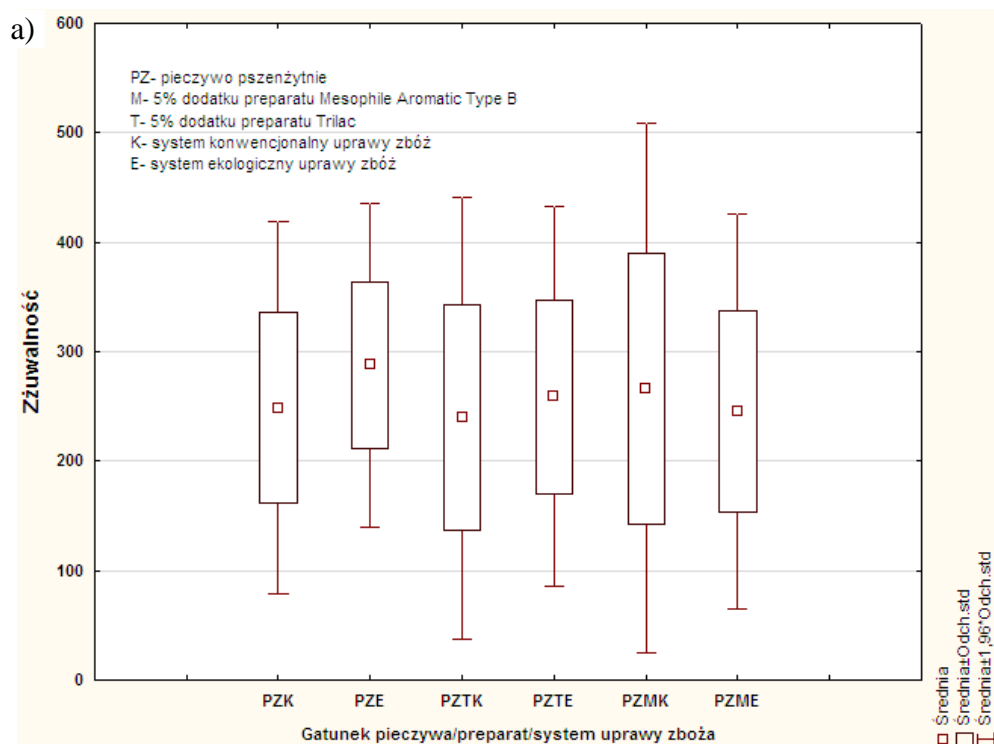
Rysunek 19. Zróżnicowanie gumliwości pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: e) pieczywo żytnie; f) pieczywo żytnie (test przechowalniczy)



Rysunek 20. Wpływ wilgotności i porowatości miększu na gumiałość pieczywa: a) pszennego; b) żytniego; c) pszenżytniego

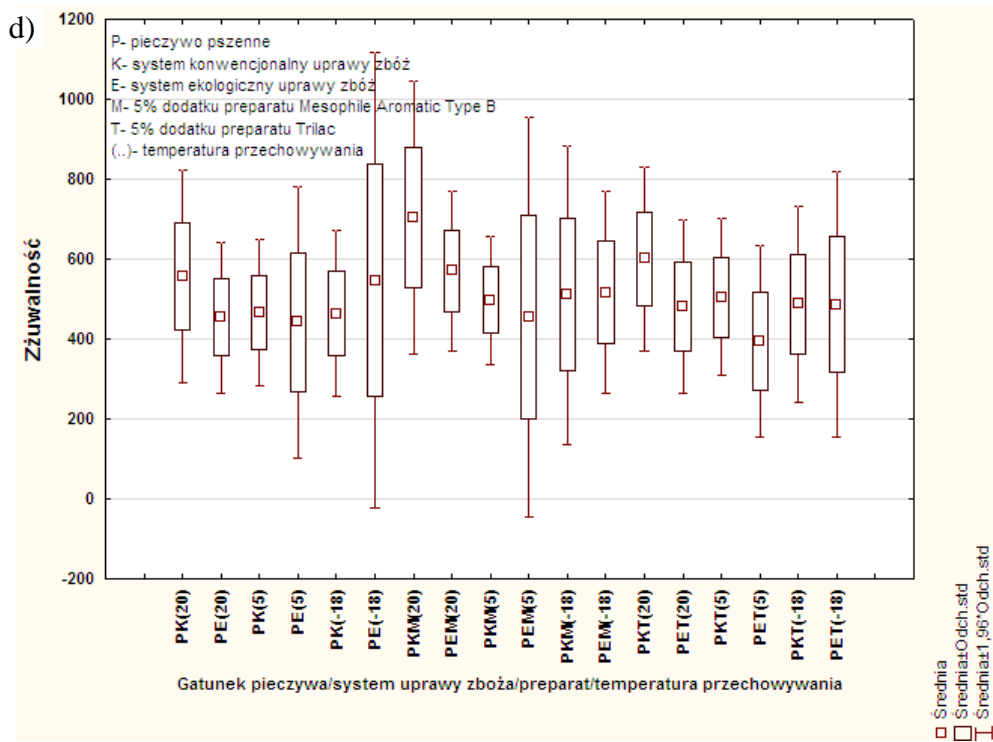
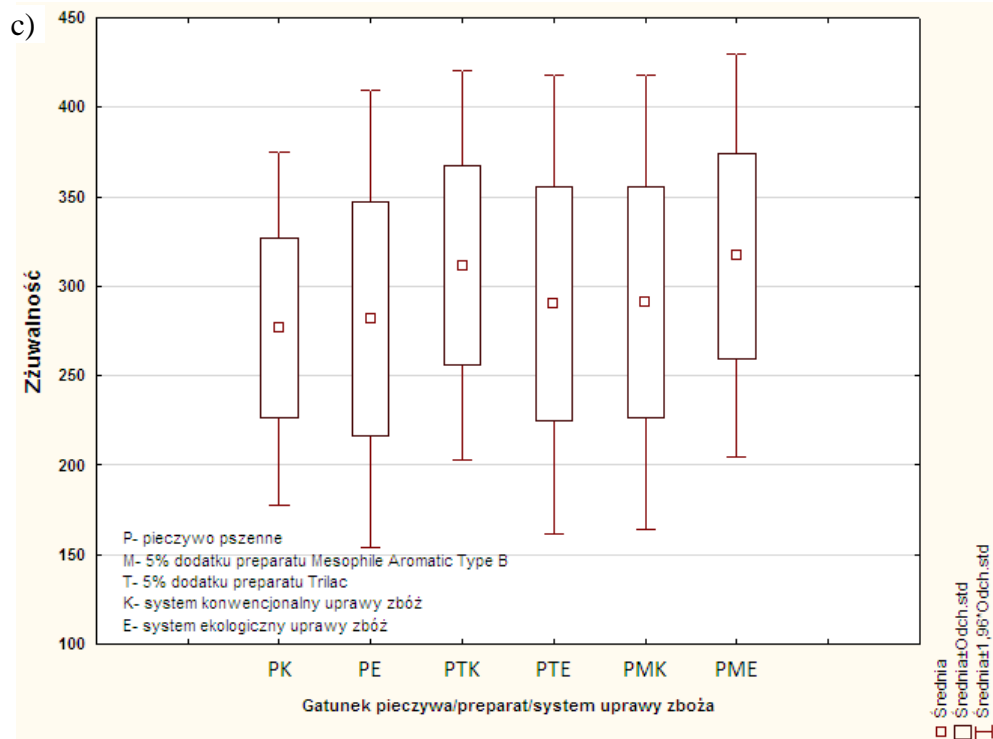
#### 4.4.6. Zżuwalność

Mianem zżuwalności określa się imitację procesu żucia, czyli siłę potrzebną do rozdrobnienia pokarmu do postaci przetykalnej. Bourne (1982) przedstawia zżuwalność  $p$  jako iloczyn gumiałości produktu i jego sprężystości. W przypadku pieczywa kontrolnego (pszenne) istotnie pod względem wartości tego parametru odbiegała forma ekologiczna z dodatkiem preparatu Mesophile Aromatic Type B (rysunek 21). Średnie wyniki dotyczące pieczywa kontrolnego wykazały zwiększoną zżuwalność zarówno form ekologicznych, jak i modyfikowanych dodatkiem preparatów kwasu mlekowego. Przechowywanie pieczywa powodowało podwyższenie wartości analizowanego parametru, jednakże istotne statystycznie wyniki uzyskano dla pieczywa przechowywanego w 20°C. Wartości otrzymane dla pieczywa pszenżytniego charakteryzowały się dużym podobieństwem do wartości kontrolnych (pieczywo pszenne), aczkolwiek rozrzut wyników był mniejszy. Niższą zżuwalność wykazywała forma ekologiczna pieczywa pszenżytniego. Warunki przechowalnicze pieczywa pszenżytniego okazały się w mniejszym stopniu wpływać na zżuwalność. Analizując ogół wyników odnoszących się do zżuwalności, stwierdzono, że wartości dotyczące pieczywa żytniego istotnie odbiegały od pozostałych (o 75% wyższe).

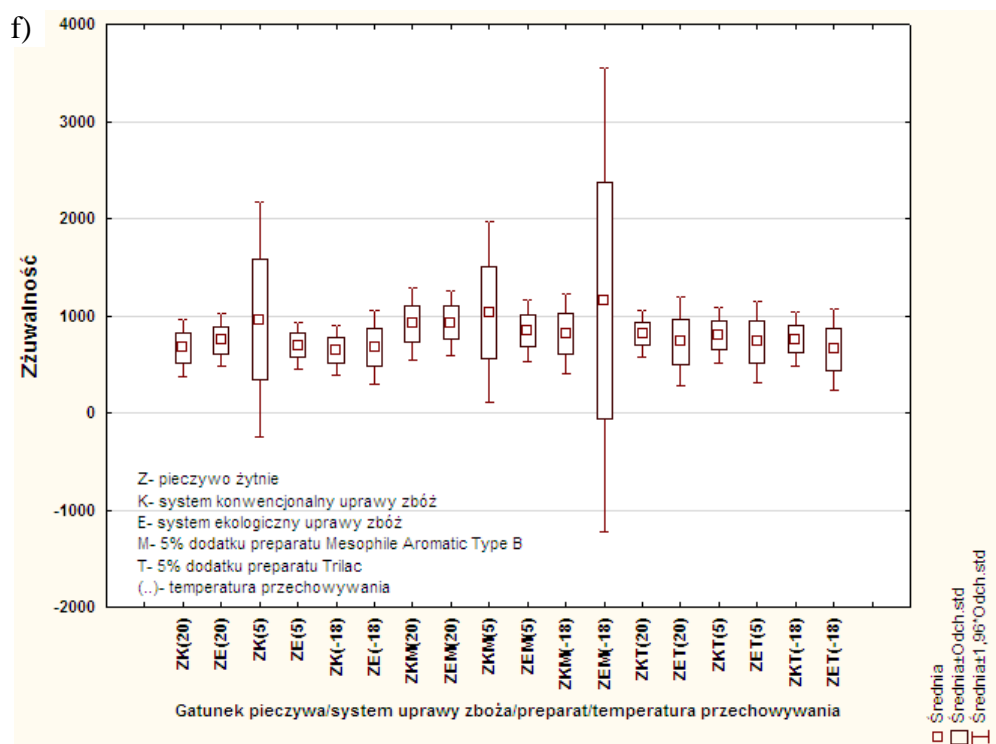
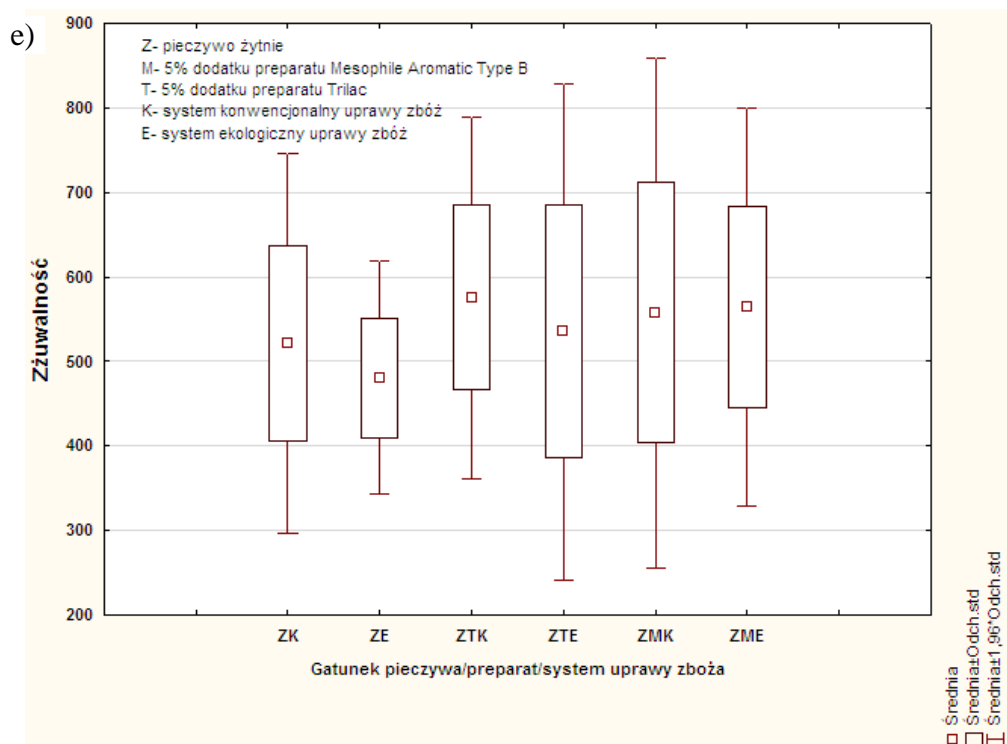


Rysunek 21. Zróżnicowanie zżuwalności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: a) pieczywo pszenżytnie; b) pieczywo pszenżytnie (test przechowalniczy)





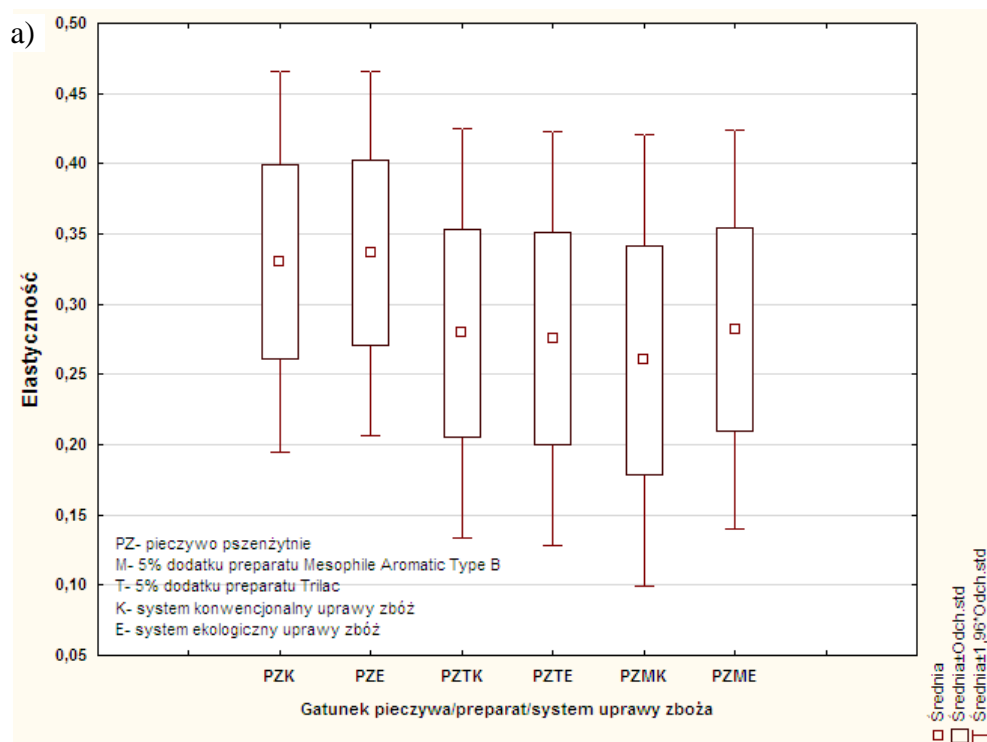
Rysunek 21. Zróżnicowanie zżuwalności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: c) pieczywo pszenne; d) pieczywo pszenne (test przechowalniczy)



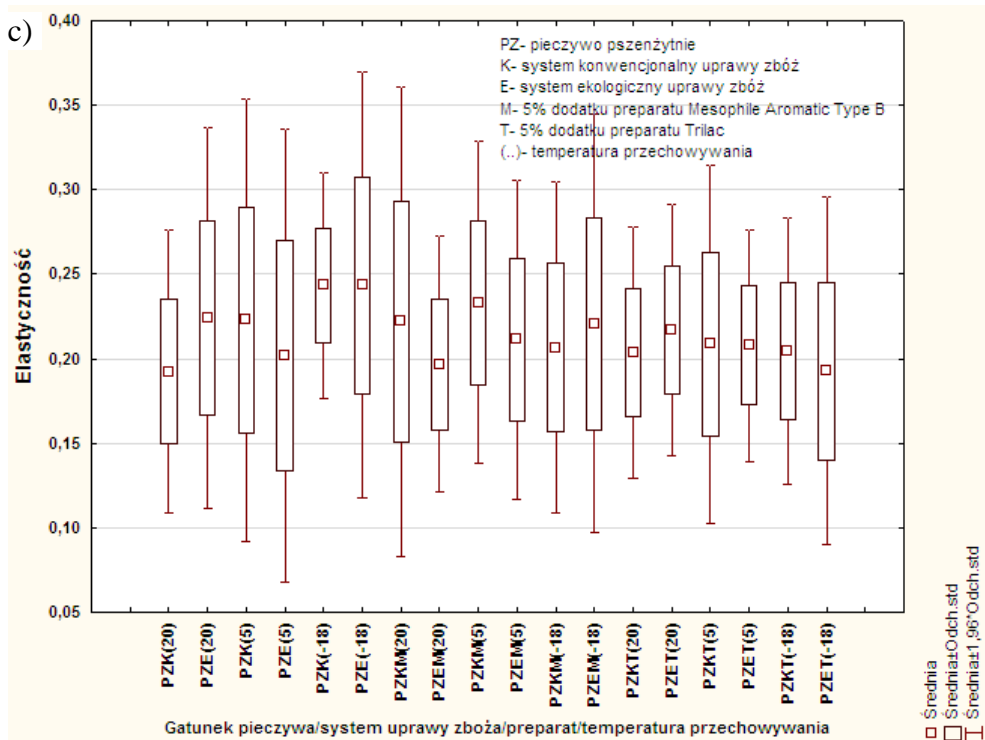
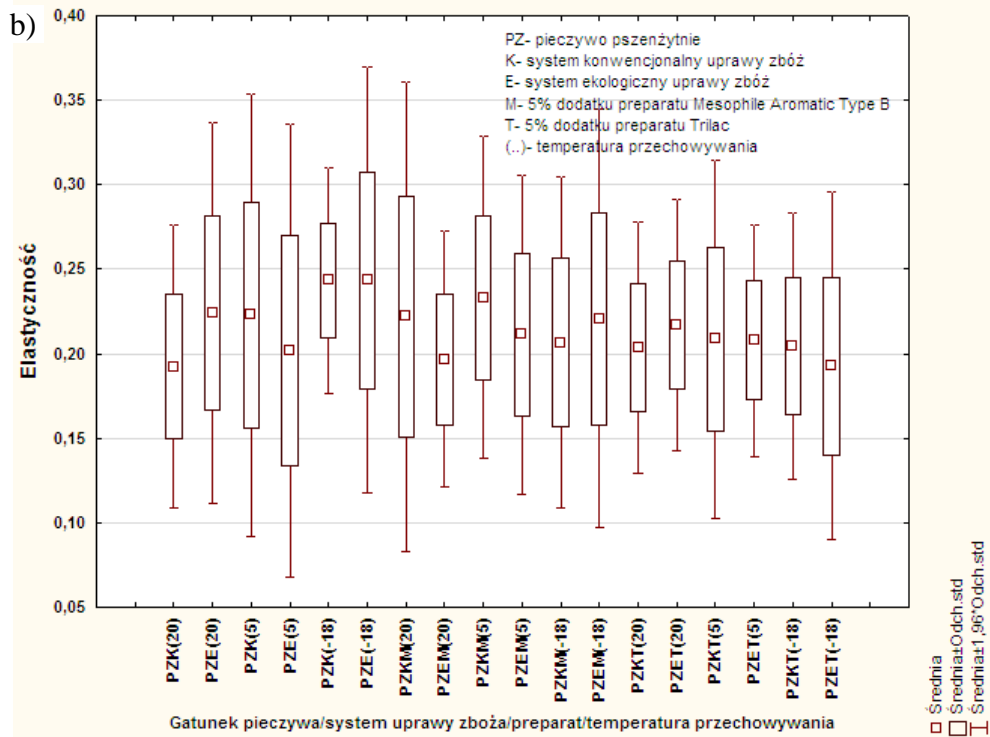
Rysunek 21. Zróżnicowanie zżuwalności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: e) pieczywo żytnie; f) pieczywo żytnie (test przechowalniczy)

#### 4.4.7. Elastyczność

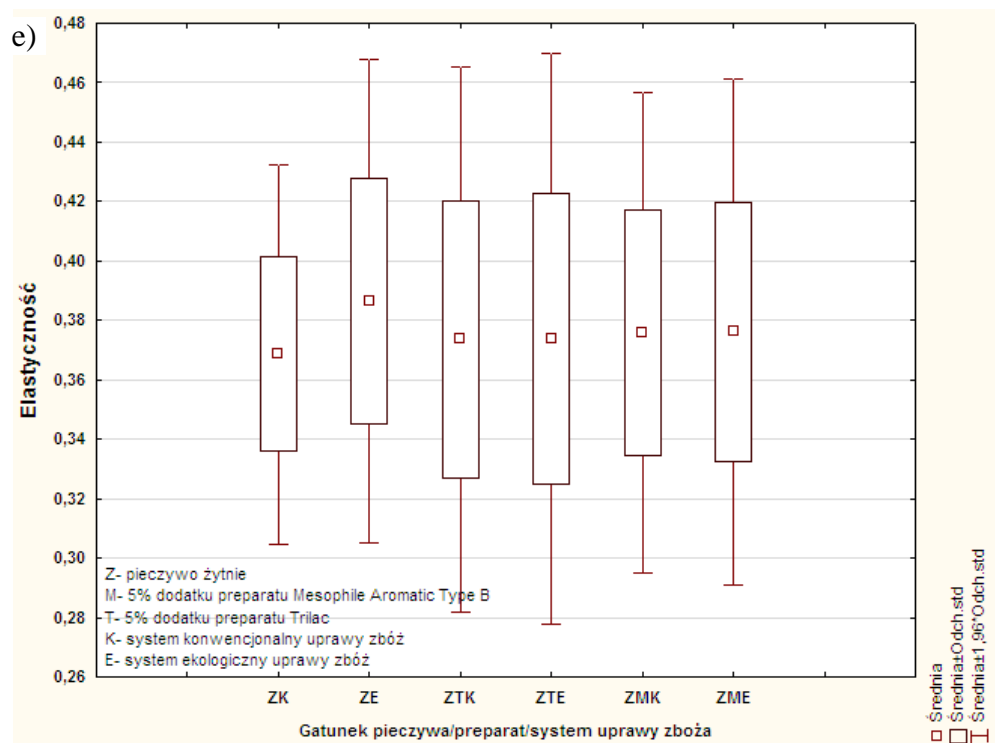
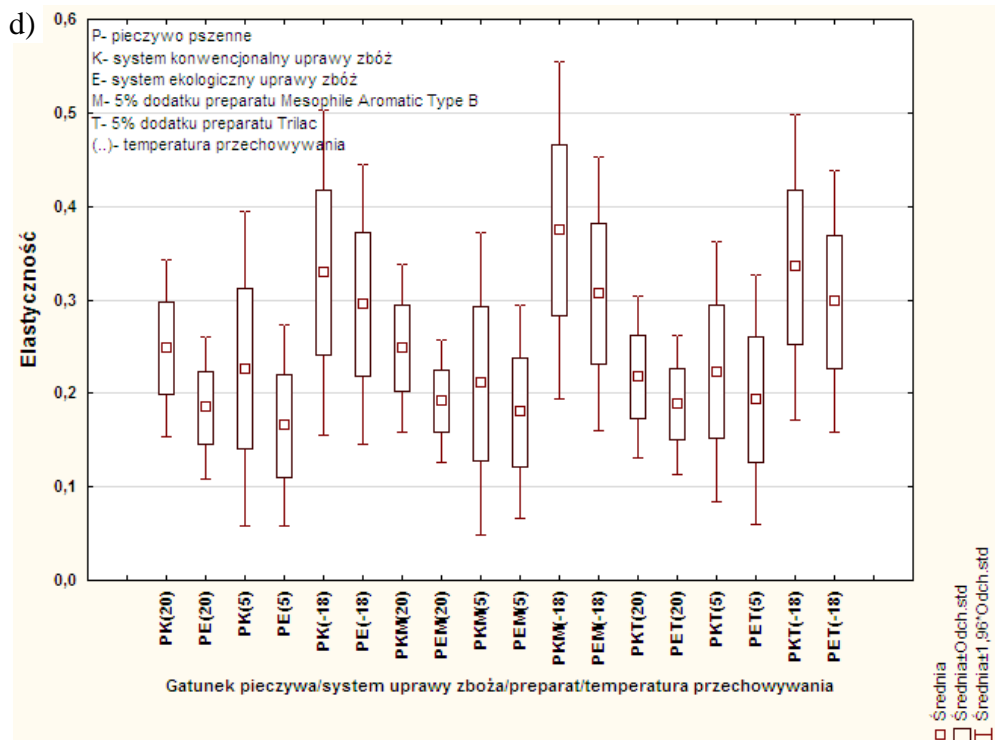
Elastyczność pieczywa pszennego, analizowana zarówno w zależności od systemu uprawy, jak i modyfikacji starterami kwasu mlekowego, istotnie odbiegała od elastyczności pozostałych gatunków (rysunek 22). Odnotowano również pogarszający tę cechę wpływ dodatku startera fermentacji mlekowej. Analiza statystyczna dowiodła istotnego wpływu systemu uprawy na wyroby pszenżytnie. Warunki przechowalnicze lepiej znosiło pieczywo pszenżytnie, dla którego odnotowano najniższy nieistotny rozrzut wyników pomiędzy największą amplitudą temperatur. W teście przechowalniczym próbek kontrolnych zaobserwowano istotne pogorszenie elastyczności wyrobu przetrzymywanego w temperaturze 5°C w porównaniu z przechowywanym w temperaturze -18°C. Z przeprowadzonych testów wynika również znaczące polepszenie tej cechy pieczywa ekologicznego pszennego. Podobny trend dotyczył wszystkich analizowanych gatunków pieczywa.



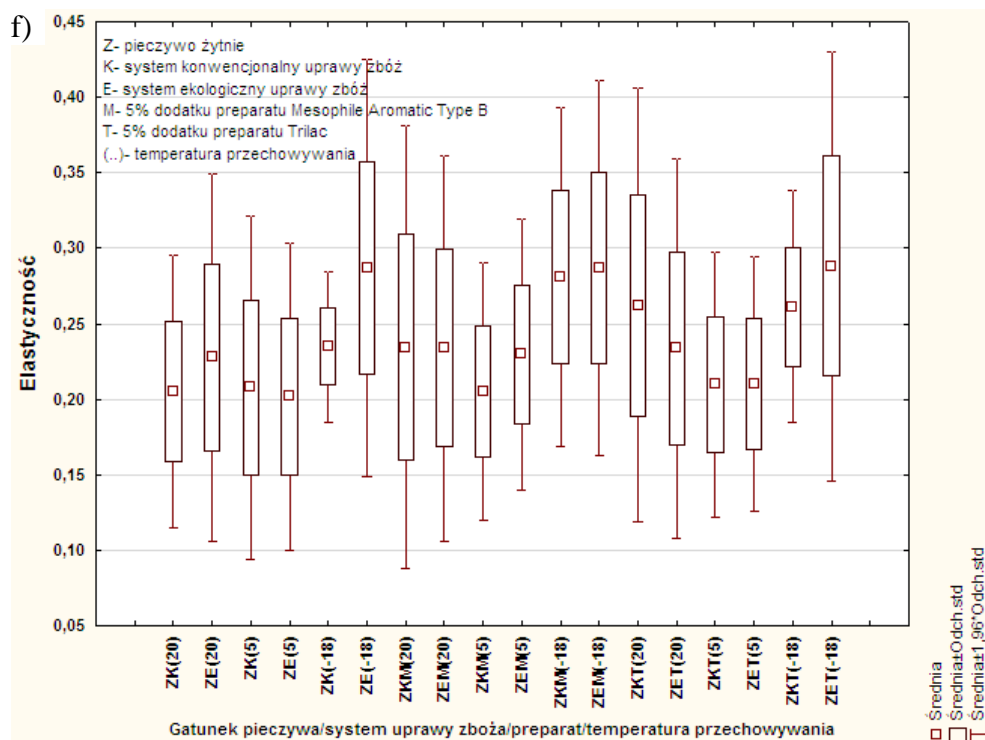
Rysunek 22. Zróżnicowanie elastyczności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: a) pieczywo pszenżytnie



Rysunek 22. Zróżnicowanie elastyczności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: b) pieczywo pszenżytnie (test przechowalniczy); c) pieczywo pszenne



Rysunek 22. Zróżnicowanie elastyczności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: d) pieczywo pszenne (test przechowalniczy); e) pieczywo żytnie



Rysunek 22. Zróżnicowanie elastyczności pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy, dodatku preparatu fermentacji mlekowej i temperatury przechowywania: f) pieczywo żytnie (test przechowalniczy)

#### 4.5. Barwa pieczywa

Pieczywo pszenżytnie charakteryzowało się najniższą jasnością i żółtością oraz najwyższą czerwonością miękiszu i skórki (tabela 8). Jasność miękiszu pieczywa pszenżytniego zmieniała się pod wpływem dodatków probiotycznych i tak, 10-procentowy dodatek powodował wzrost wartości omawianego parametru do wartości kontrolnych ( $51,44 \pm 0,27$ ), a 15-procentowy dodatek – spadek o 4–10%. Zastosowanie preparatów powodowało wzrost jasności skórki pieczywa powyżej wartości kontrolnych ( $41,10 \pm 0,29$ ). Dodatek Mesophile Aromatic Type B w stężeniu do 10% prowadził do wzrostu jasności do poziomu  $58,66 \pm 0,39$ , zwiększenie zaś dawki tego preparatu do 15% skutkowało spadkiem jasności o 20%. Próbkę pieczywa z preparatem Trilac, niezależnie od jego stężenia, charakteryzowały się zbliżonym poziomem jasności (52). Zastosowanie preparatów kultur bakterii mlekowych do produkcji pieczywa pszenżytniego powodowało spadek czerwoności miękiszu i skórki w stosunku do próbek kontrolnych. Najwyższy poziom wystąpił w przypadku stosowania Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 15% ( $7,00 \pm 0,14$  – miękisz i  $10,10 \pm 0,17$  – skórka). Żółtość miękiszu, niezależnie od rodzaju zastosowanego preparatu i jego stężenia, utrzymywała się na zbliżonym poziomie i wynosiła 14,00, co stanowiło około 90% wartości kontrolnych.

Tabela 8. Wpływ dodatku kultur bakterii mlekowych na zmianę barwy pieczywa pszenżytniego

Dodatek kultur bakterii mlekowych (%)		L*		a*		b*		ΔE	
		miękkisz	skórka	miękkisz	skórka	miękkisz	skórka	miękkisz	skórka
Próbki kontrolne		51,44	41,10	6,08	12,76	15,22	16,70	–	–
		0,27	0,29	0,11	0,57	0,08	0,21	–	–
Mesophile Aromatic Type B	5	51,90	51,58	5,44	7,76	14,96	16,08	0,83	11,63
		0,16	0,30	0,05	0,14	0,05	0,24	–	–
	10	52,98	58,66	5,60	6,10	14,22	17,00	1,90	18,78
		0,13	0,39	0,19	0,18	0,08	0,14	–	–
	15	46,3	47,12	7,00	10,10	14,98	16,30	5,23	6,59
		0,63	0,91	0,14	0,17	0,08	0,17	–	–
Trilac	5	51,90	51,58	5,64	6,88	14,22	16,80	1,19	12,02
		0,11	0,94	0,05	0,21	0,08	0,13	–	–
	10	52,56	51,92	5,42	6,40	14,92	16,26	1,33	12,59
		0,13	0,50	0,22	0,18	0,08	0,13	–	–
	15	51,30	52,36	6,42	8,50	15,06	13,52	0,40	12,45
		0,22	0,65	0,26	0,42	0,08	0,38	–	–

Wykorzystanie dodatku Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 5% i 15% powodowało zbliżony poziom żółtości skórki (16,30), a przy stężeniu 10% nastąpił wzrost o około 5% (17,00±0,14). Po zastosowaniu preparatu Trilac intensywność barwy zmniejszała się wraz ze wzrostem jego stężenia z 5% (16,80±0,13) do 15% (13,52±0,38) – tabela 8.

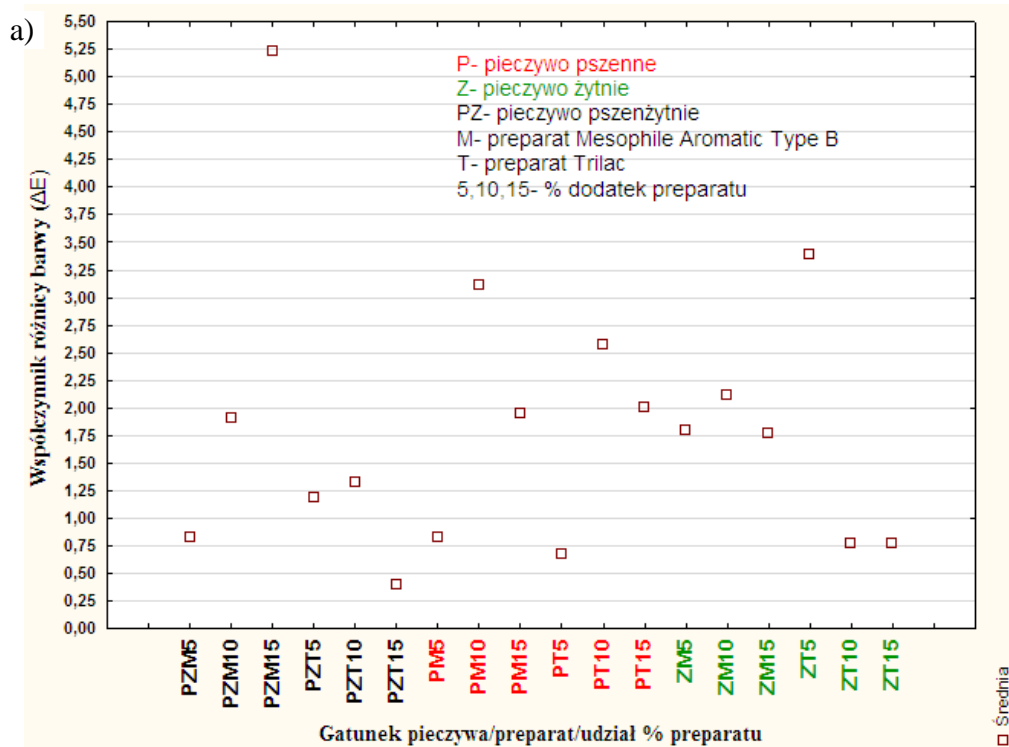
Pieczywo pszenżytnie charakteryzowało się najwyższymi wartościami współczynnika różnicy barwy (ΔE), jak i amplitudą wahań w odniesieniu do pieczywa pszennego i żytniego (tabela 8, 9, 10, rysunek 23).

Tabela 9. Wpływ dodatku kultur bakterii mlekowych na zmianę barwy pieczywa pszennego

Dodatek kultur bakterii mlekowych (%)		L*		a*		b*		ΔE	
		miękkisz	skórka	miękkisz	skórka	miękkisz	skórka	miękkisz	skórka
Próbki kontrolne		73,30	50,02	1,66	10,28	16,68	19,68	–	–
		0,47	0,32	0,11	1,03	0,08	0,10	–	–
Mesophile Aromatic Type B	5	74,08	53,92	1,42	9,3	16,54	20,10	0,83	4,04
		0,30	0,40	0,08	0,54	0,11	0,13	–	–
	10	76,16	55,94	1,30	7,66	15,52	21,00	3,11	6,61
		0,28	1,29	0,07	0,48	0,18	0,13	–	–
	15	75,06	52,06	1,66	8,60	15,84	21,02	1,95	2,96
		0,63	0,96	0,15	1,14	0,17	0,13	–	–
Trilac	5	73,38	61,58	1,00	7,12	16,82	19,56	0,67	11,98
		0,29	0,39	0,16	0,17	0,25	0,08	–	–
	10	75,70	47,94	0,74	10,62	16,54	19,44	2,57	2,12
		0,19	0,21	0,18	0,00	0,09	0,14	–	–
	15	75,26	48,10	1,42	11,60	16,30	19,62	2,01	2,33
		0,45	0,87	0,13	0,53	0,20	0,25	–	–

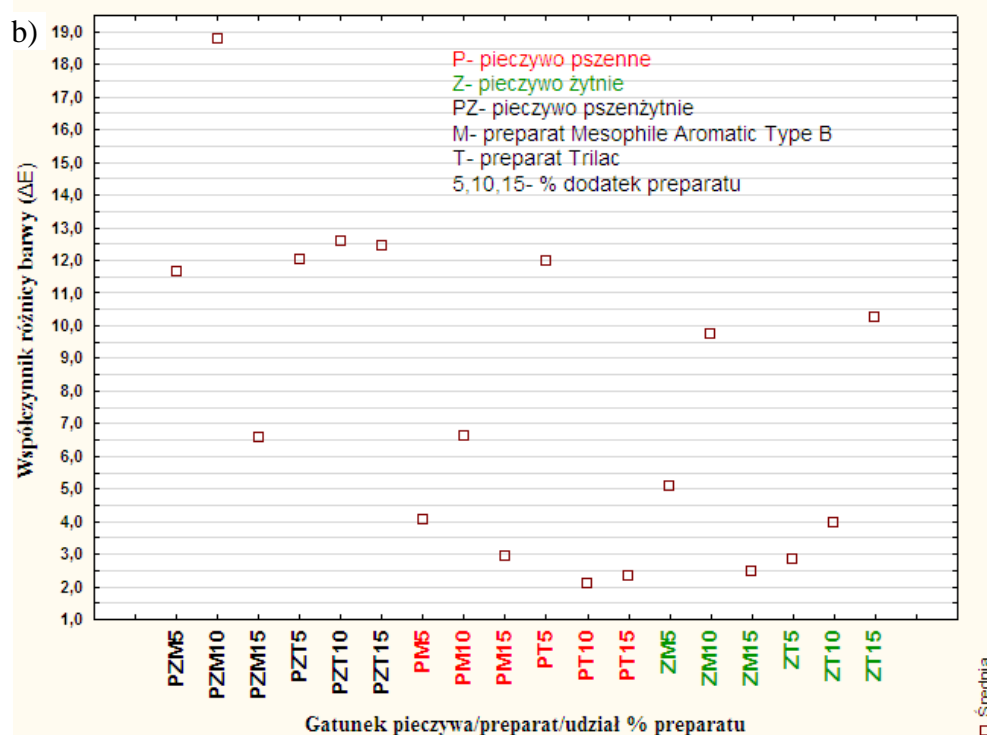
Tabela 10. Wpływ dodatku kultur bakterii mlekowych na zmianę barwy pieczywa żytniego

Dodatek kultur bakterii mlekowych (%)		L*		a*		b*		ΔE	
		miękkisz	skórka	miękkisz	skórka	miękkisz	skórka	miękkisz	skórka
Próbki kontrolne		60,54	58,00	3,12	1,66	15,42	22,32	–	–
		0,76	1,82	0,11	0,11	0,13	0,70	–	–
Mesophile Aromatic Type B	5	60,50	52,98	4,78	1,42	14,74	21,74	1,79	5,10
		0,31	1,53	0,44	0,08	0,23	1,58	–	–
	10	62,58	66,80	3,62	1,30	15,28	18,14	2,11	9,75
		0,22	2,22	0,04	0,07	0,08	0,74	–	–
	15	62,18	55,90	3,70	1,66	15,74	21,00	1,77	2,48
		0,28	1,29	0,12	0,15	0,05	0,13	–	–
Trilac	5	63,90	60,70	2,68	1,00	15,48	23,04	3,39	2,87
		0,10	0,64	0,16	0,16	0,04	0,06	–	–
	10	61,10	54,90	3,56	0,74	15,70	20,04	0,77	3,96
		0,23	0,50	0,05	0,18	0,07	0,10	–	–
	15	61,10	48,10	3,56	1,42	15,70	19,60	0,77	10,27
		0,23	0,82	0,05	0,13	0,07	0,45		



Rysunek 23. Zróżnicowanie współczynnika różnicy barwy ( $\Delta E$ ) pieczywa w zależności od gatunku mąki i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: a) miękkisz





Rysunek 23. Zróżnicowanie współczynnika różnicy barwy ( $\Delta E$ ) pieczywa w zależności od gatunku mąki i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: b) skórka

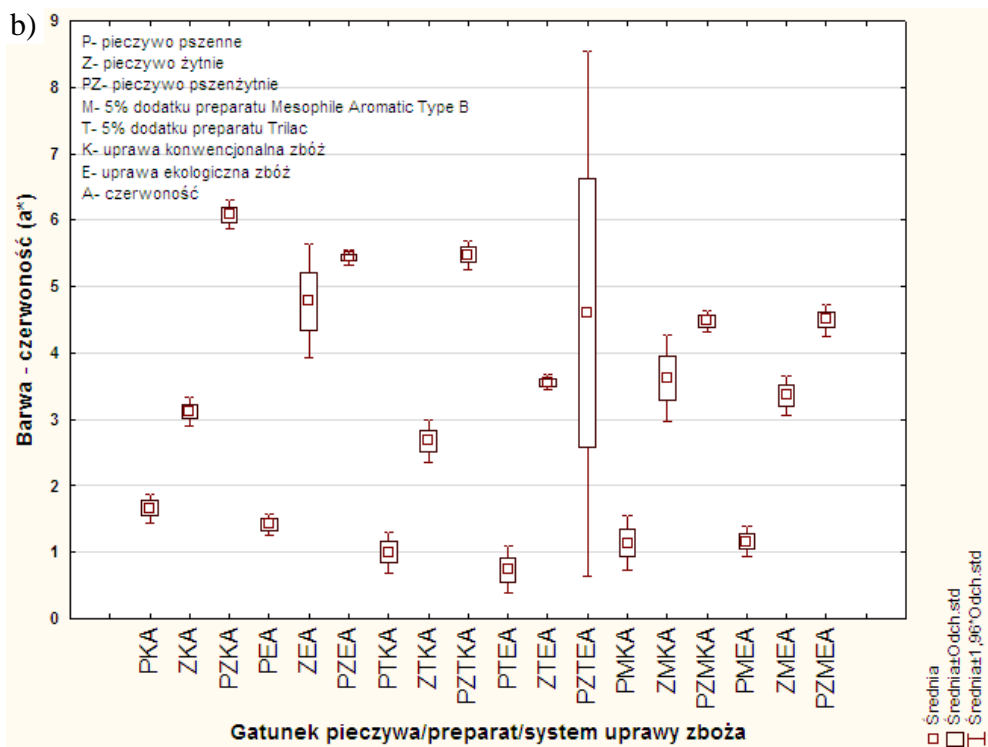
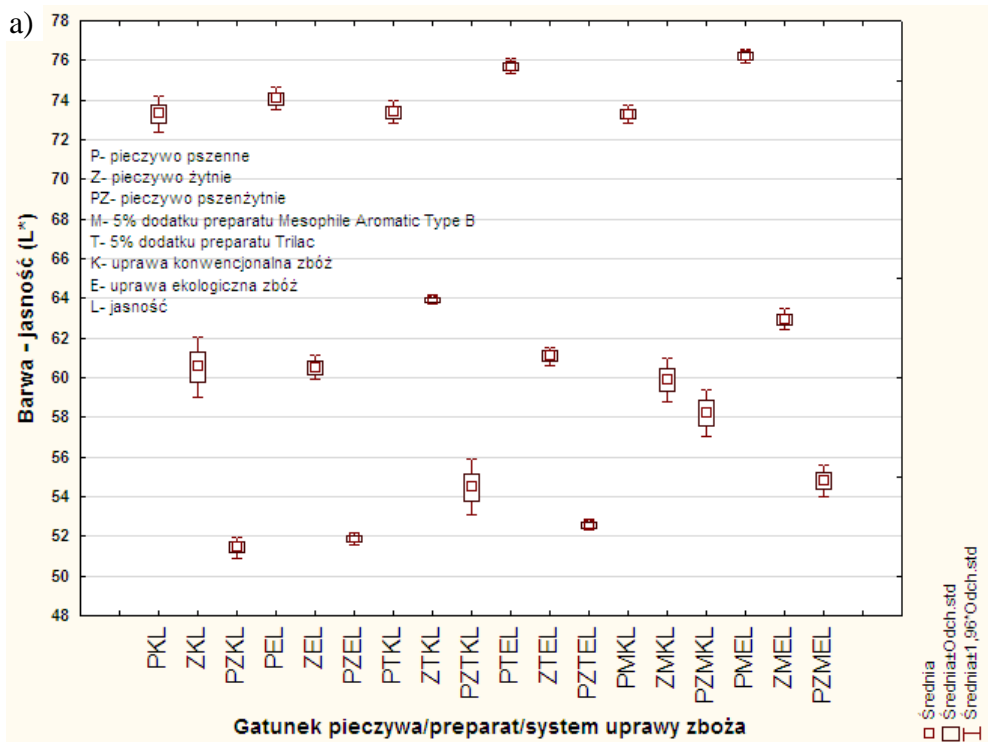
Dla wszystkich gatunków pieczywa odnotowano wzrost wartości współczynnika  $\Delta E$  w miarę zwiększania się udziału procentowego preparatów bakterii kwasu mlekowego. Wyższe wartości otrzymano w przypadku skórki pieczywa. Mięksisz pieczywa pszenżytniego charakteryzował się istotnie niższym współczynnikiem różnicy barwy ( $\Delta E$ ) w porównaniu ze skórką pieczywa. Wraz ze zwiększeniem ilości startera fermentacji następował wzrost współczynnika  $\Delta E$ , z wyjątkiem 15-procentowego dodatku preparatu Trilac (mięksisz) i 15-procentowego dodatku preparatu Mesophile Aromatic Type B (skórka). Współczynnik  $\Delta E$  osiągał najwyższe wartości w przypadku dodatku preparatu Mesophile Aromatic Type B, aczkolwiek średnia wartość przyrostu  $\Delta E$  była wyższa w przypadku skórki i modyfikacji preparatem Trilac.

Pieczywo pszenne charakteryzowało się najwyższą jasnością i żółtością oraz najniższą czerwonością mięksiszu (tabela 9). Zastosowanie preparatu Mesophile Aromatic Type B w stężeniu do 10% skutkowało wzrostem jasności do poziomu  $76,16 \pm 0,28$ , zwiększenie zaś stężenia do 15% nie powodowało znaczącego zmniejszenia intensywności jasności. Dodatek preparatu Trilac zwiększał jasność, która rosła w miarę wzrostu jego stężenia, a znaczące zwiększenie nastąpiło przy stężeniu 10%. Później wartości utrzymywały się na zbliżonym poziomie (około 76 jednostek). Skórka pieczywa pszennego pod wpływem dodatków probiotycznych wykazywała większą jasność niż próbki kontrolne ( $50,02 \pm 0,32$ ), wyjątek stanowił chleb z dodatkiem preparatu Trilac w stężeniu 10% i 15%, cechujący się niewielkim spadkiem jasności (o 4%). Zastosowanie preparatów Mesophile Aromatic Type B w stężeniu do 10% powodowało wzrost jasności (do, odpowiednio,  $55,94 \pm 1,29$  i  $54,80 \pm 1,16$ ), a w stężeniu 15% – nieznaczny spadek (do poziomu  $52,06 \pm 0,96$  i  $50,86 \pm 0,63$ ). Chleb z dodatkiem preparatu Trilac w stężeniu 5% wykazywał najwyższy poziom jasności spośród wszystkich próbek

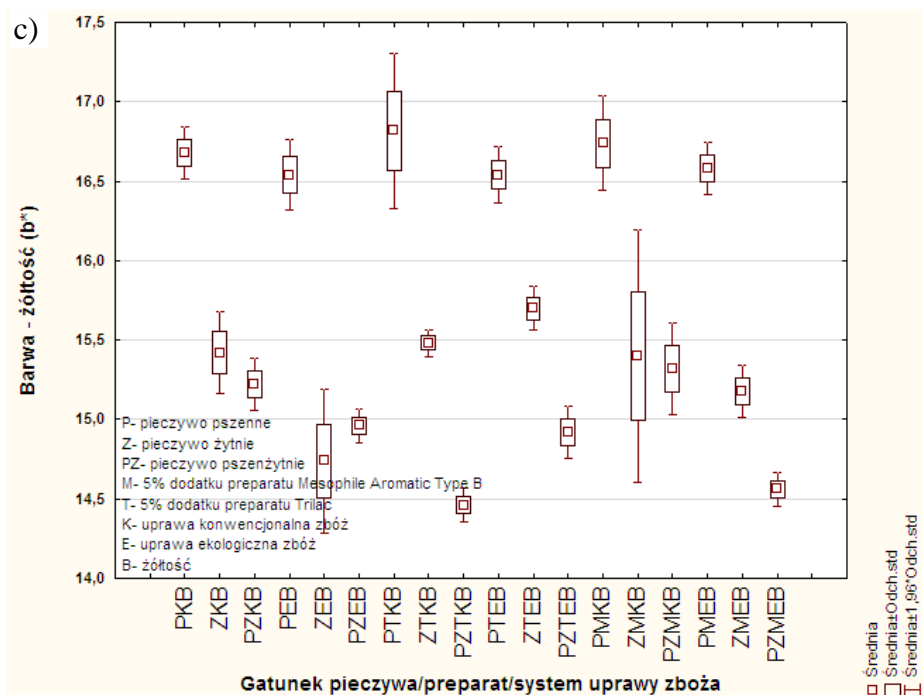
( $61,58 \pm 0,39$ ). Zastosowanie kultur bakterii mlekowych powodowało spadek czerwoności miękiszu pieczywa pszennego w stosunku do próbek kontrolnych. W przypadku użycia *Mesophile Aromatic Type B* najwyższą czerwoność osiągnął chleb z 15-procentowym dodatkiem tego preparatu ( $1,66 \pm 0,15$ ). Był to wynik zbliżony do wartości kontrolnych. Zmiana stężenia tego preparatu do 10% powodowała spadek czerwoności o 22%. Pieczywo z dodatkiem preparatu Trilac w stężeniu 10% wykazało najniższy poziom czerwoności ( $0,74 \pm 0,18$ ), zwiększenie zaś stężenia do 15% pozwoliło uzyskać czerwoność o wartości  $1,42 \pm 0,13$ . Miększy pieczywa pszennego kontrolnego, niezależnie od rodzaju stosowanego preparatu i jego stężenia, charakteryzował się podobną żółtością ( $16,68 \pm 0,08$ ). Zastosowanie dodatku preparatu Trilac w stężeniu 5% powodowało wzrost żółtości skórki o, odpowiednio, 11% i 4% w stosunku do próbek kontrolnych ( $22,32 \pm 0,70$ ), spadek zaś poniżej wartości kontrolnych nastąpił po wykorzystaniu dodatku *Mesophile Aromatic Type B* w stężeniu do 10% i preparatu Trilac w stężeniu 15%.

Jasność miękiszu pieczywa żytniego nieznacznie wzrosła po zastosowaniu preparatów kultur bakterii mlekowych (tabela 10). W przypadku preparatu *Mesophile Aromatic Type B* w stężeniu 10% nastąpił wzrost do wartości  $62,58 \pm 0,22$ , co stanowiło 3% wartości kontrolnych. Dodatek preparatu Trilac w stężeniu 5% powodował najwyższą jasność ( $63,90 \pm 0,10$ ), natomiast zwiększenie dawki tego preparatu skutkowało jej spadkiem o 4%. W przypadku skórki dodatek preparatu *Mesophile Aromatic Type B* w stężeniu 10% powodował wzrost jasności do poziomu  $66,80 \pm 2,22$ , zwiększenie zaś stężenia stosowanego preparatu do 15% skutkowało spadkiem o 16%. W przypadku preparatu Trilac jasność zmniejszała się wraz ze wzrostem jego dawki – od  $60,70 \pm 0,64$  do  $48,10 \pm 0,82$  przy stężeniu 15%. Miększy pieczywa żytniego i kontrolnego charakteryzował się, niezależnie od rodzaju stosowanego preparatu, zbliżoną czerwonością ( $3,12 \pm 0,11$ ). Po zastosowaniu preparatu Trilac w stężeniu 5% nastąpił spadek czerwoności skórki pieczywa do  $2,68 \pm 0,16$ . Dodatek któregośkolwiek preparatu probiotycznego powodował spadek czerwoności poniżej wartości kontrolnych ( $10,28 \pm 1,03$ ). Wykorzystanie dodatku *Mesophile Aromatic Type B* w stężeniu 10% skutkowało największym spadkiem czerwoności pieczywa (średnio o 17%) w stosunku do pozostałych próbek. Zwiększenie dodatku preparatu Trilac do 15% wpłynęło na zmianę czerwoności do wartości  $11,6 \pm 0,53$ . W przypadku żółtości miękiszu pieczywa żytniego, niezależnie od rodzaju i stężenia preparatu, otrzymano wartości zbliżone do kontrolnych ( $16,68 \pm 0,08$  – miększy i  $19,68 \pm 0,10$  – skórka).

Oznaczono także wpływ systemu uprawy oraz dodatku startera fermentacji mlekowej na podstawowe parametry barwy (rysunek 24).



Rysunek 24. Zróżnicowanie barwy pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: a) jasność; b) czerwoność



Rysunek 24. Zróżnicowanie barwy pieczywa w zależności od gatunku mąki, systemu uprawy i dodatku preparatu fermentacji mlekowej: c) żółtość

Jasność pieczywa pszennego oraz żytniego nieznacznie się poprawiła wraz ze wzrostem stężenia preparatów, a otrzymane różnice były nieistotne statystycznie. Ekologiczny system uprawy ziół wpływał korzystnie na barwę pieczywa pszenżytniego bez dodatku startera fermentacji. Standardowy, 5-procentowy dodatek startera powodował istotne zmiany jasności. Analogiczną sytuację stwierdzono w przypadku czerwoności badanego pieczywa bez startera fermentacji mlekowej. Jedynie ekologiczny system uprawy istotnie wpłynął na czerwoność pieczywa żytniego, powodując 30-procentową poprawę. Ten sam trend odnotowano po dodaniu preparatu Trilac. W przypadku preparatu Mesophile Aromatic Type B wyniki praktycznie nie uległy zmianie. Można zatem stwierdzić, że modyfikacja tym preparatem wprowadziła stagnację czerwoności niezależnie od systemu uprawy ziół na mąkę. Żółtość pieczywa wypiekanego z mąk ekologicznych była średnio o 5% mniejsza niż pieczywa z mąk standardowych. Poprawę tego parametru barwy (nawet o 10% w przypadku pszenżyta) powodował dodatek preparatu Trilac. Natomiast preparat Mesophile Aromatic Type B wpływał na istotne obniżanie żółtości produktu we wszystkich analizowanych przypadkach.

## 4.6. Wpływ wybranych starterów fermentacji mlekowej na aktywność przeciwutleniającą pieczywa

### 4.6.1. Analiza mąki użytej do produkcji

Mąka pszenżytnia zawierała najwięcej polifenoli ( $34,21 \pm 0,62$ ) i uzyskała najwyższy poziom TEAC ( $6,16 \pm 0,06 \mu\text{M}$  troloksu/g), a mąka pszena i żytnia charakteryzowały się niższą zawartością polifenoli, jak i poziomem TEAC. W przypadku analizy ABTS mąka żytnia uzyskała wyższą wartość TEAC o około 20% w stosunku do mąki pszennej. Analiza

zdolności zmiatania wolnych rodników DPPH i największego potencjału oksydoredukcyjnego wykazała, że najwyższe wartości uzyskano w przypadku mąki pszenżytniej ( $0,58 \pm 0,01$ ), najniższe zaś dla mąki żytniej ( $0,27 \pm 0,04$ ) – tabela 11.

Tabela 11. Właściwości mąki pszennej, żytniej i pszenżytniej użytych do produkcji pieczywa

Mąka	Wilgotność (%)	Polifenole (mg kwasu galusowego/100 g)	Zdolność zmiatania DPPH ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)	TEAC ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)
Pszenna	$12,19 \pm 0,02$	$22,63 \pm 0,52$	$0,43 \pm 0,03$	$4,77 \pm 0,07$
Żytnia	$11,07 \pm 0,01$	$25,92 \pm 0,13$	$0,27 \pm 0,04$	$6,03 \pm 0,03$
Pszenżytnia	$9,66 \pm 0,07$	$34,21 \pm 0,62$	$0,58 \pm 0,01$	$6,16 \pm 0,06$

#### 4.6.2. Analiza wybranych preparatów probiotycznych wykorzystanych do produkcji pieczywa

Z przeprowadzanych analiz wynika, że pieczywo z dodatkiem preparatu Mesophile Aromatic Type B charakteryzowało się najwyższym poziomem TEAC ( $0,56 \pm 0,02 \mu\text{M}$  troloksu/g), a pieczywo z dodatkiem preparatów Lacidozone i Trilac – niższymi wartościami, które – odpowiednio – stanowiły około 9% i 16% wartości otrzymanych po zastosowaniu preparatu Mesophile Aromatic Type B (tabela 12). Zdolność zmiatania wolnych rodników we wszystkich przypadkach była zbliżona i wynosiła około  $0,09 \mu\text{M}$  troloksu/g. Po użyciu preparatu Trilac wykazano najwyższą zawartość polifenoli ( $17,56 \pm 0,41$  mg kwasu galusowego/100 g). Po wykorzystaniu zaś preparatów Lacidozone i Mesophile Aromatic Type B otrzymano niższy poziom TEAC o, odpowiednio, 47% i 34% w stosunku do wartości uzyskanych po użyciu preparatu Trilac. Najwyższą kwasowość otrzymano dla preparatu Trilac ( $9,85 \pm 0,17$  ml 1 N NaOH/100 ml), a najniższą dla Mesophile Aromatic Type B ( $6,90 \pm 0,12$  ml 1 N NaOH/100 ml).

Tabela 12. Właściwości preparatów probiotycznych wykorzystanych do produkcji pieczywa

Preparaty	Kwasowość czynna (ml 1 N NaOH/100 ml)	Polifenole (mg kwasu galusowego/100 g)	Zdolność zmiatania DPPH ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)	TEAC ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)
Lacidozone	$7,03 \pm 0,06$	$9,24 \pm 0,41$	$0,09 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,08$
Mesophile Aromatic Type B	$6,90 \pm 0,12$	$11,53 \pm 0,13$	$0,09 \pm 0,01$	$0,56 \pm 0,02$
Trilac	$9,85 \pm 0,17$	$17,56 \pm 0,41$	$0,08 \pm 0,00$	$0,09 \pm 0,08$

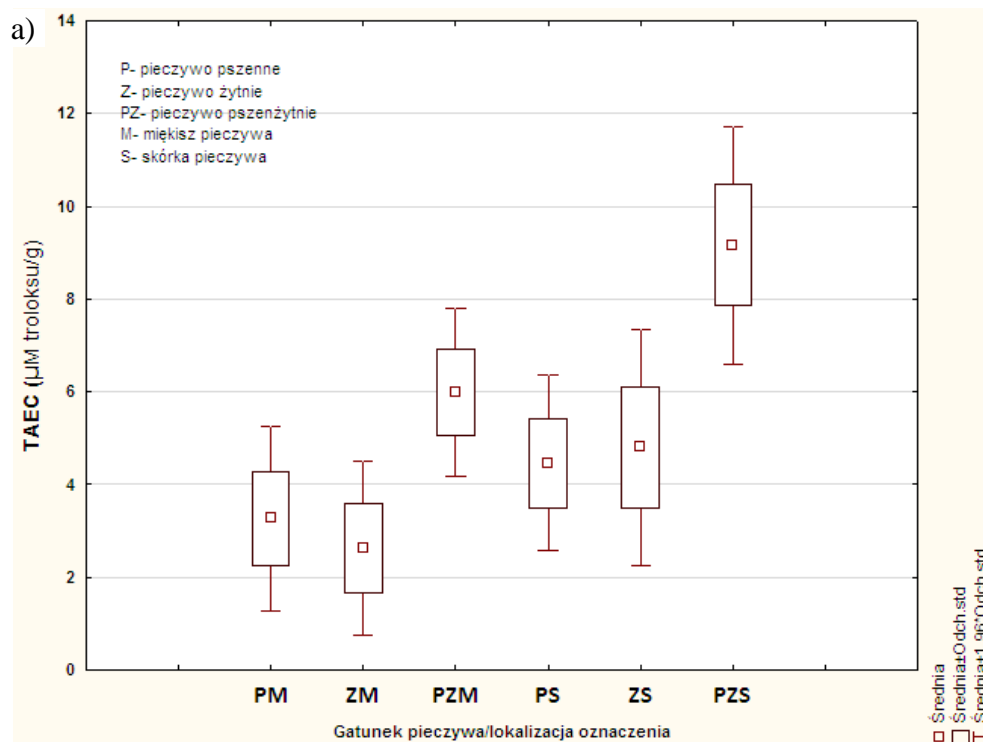
### 4.6.3. Aktywność przeciwutleniająca TEAC (wobec kationorodnika ABTS<sup>•+</sup>)

#### 4.6.3.1. Wiadomości ogólne

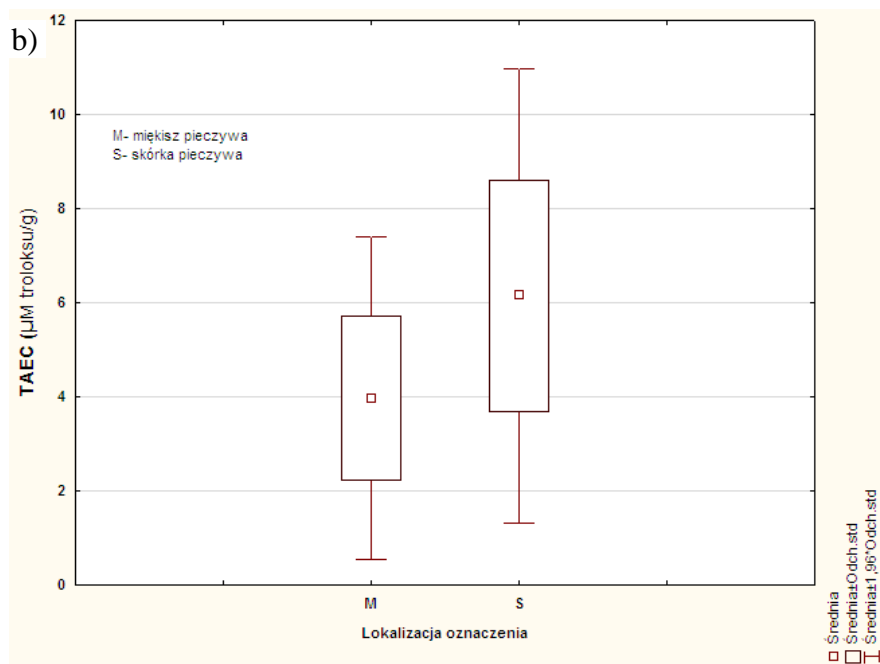
Pieczywo różniło się poziomem TEAC w zależności od rodzaju stosowanej mąki. Różnice dotyczyły zarówno skórki, jak i miękiszu. Chleb pszenny charakteryzował się najniższą aktywnością przeciwutleniającą wobec kationorodnika ABTS<sup>•+</sup>, przy czym wartość TEAC dla skórki była o 22% wyższa niż w przypadku miękiszu. Chleb żytni cechował się wyższą wartością TEAC ( $3,40 \pm 0,03 \mu\text{M}$  troloksu/g), a pszenżytni najwyższą ( $5,00 \pm 0,10 \mu\text{M}$  troloksu/g). Można zauważyć, że najwyższe i istotne statystycznie różnice między wartościami TEAC skórki i miękiszu dotyczyły próbek pochodzących z pieczywa żytniego i pszenżytniego (o odpowiednio 101% i 90%), a najmniejsza różnica – pieczywa pszennego (37%) – tabela 13, rysunek 25. Dodatek starterów fermentacji mlekowej do pieczywa w procesie produkcyjnym powodował zmiany aktywności przeciwutleniającej, zależne od stężenia i rodzaju stosowanego dodatku, a także od rodzaju pieczywa.

Tabela 13. Aktywność przeciwutleniająca TEAC ( $\mu\text{M}$  troloksu/g) miękiszu i skórki pieczywa bez dodatku kultur bakterii mlekowych

Część pieczywa	Rodzaj pieczywa		
	pszenne	żytnie	pszenżytnie
Miękisz	$2,89 \pm 0,04$	$3,40 \pm 0,09$	$5,00 \pm 0,10$
Skórka	$3,96 \pm 0,03$	$6,84 \pm 0,03$	$9,48 \pm 0,06$



Rysunek 25. Średnie wartości aktywności przeciwutleniającej wobec ABTS: a) dla gatunku pieczywa



Rysunek 25. Średnie wartości aktywności przeciwutleniającej wobec ABTS dla gatunku pieczywa: b) dla skórki i miękiszu

#### 4.6.3.2. Aktywność przeciwutleniająca pieczywa pszenżytniego

Zastosowanie preparatów probiotycznych powodowało zmiany aktywności przeciwutleniającej miękiszu pieczywa, zależne od rodzaju i stężenia preparatu. Dodatek Lacidoyone w stężeniu 10% pozwolił osiągnąć aktywność przeciwutleniającą o wartości  $5,73 \pm 0,09 \mu\text{M}$  troloksu/g. Zmiana stężenia tego preparatu do 5% lub 15% powodowała spadek aktywności średnio o 5%. Preparat Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 10% pozwolił uzyskać aktywność przeciwutleniającą na poziomie  $6,92 \pm 0,02 \mu\text{M}$  troloksu/g. Był to największy wzrost (28%) w stosunku do próbek kontrolnych. Zmiana stężenia tego preparatu powodowała spadek aktywności przeciwutleniającej – przy stężeniu 5% do poziomu  $6,00 \pm 0,02 \mu\text{M}$  troloksu/g, a przy stężeniu 15% do  $6,78 \pm 0,04 \mu\text{M}$  troloksu/g. Zastosowanie preparatu Trilac w stężeniu 15% pozwoliło uzyskać aktywność przeciwutleniającą na poziomie  $6,14 \pm 0,05 \mu\text{M}$  troloksu/g. Zmniejszenie stężenia tego preparatu do 10% lub 5% powodowało spadek potencjału oksydoredukcyjnego o, odpowiednio, 8% i 5% (tabela 14).

Tabela 14. Aktywność przeciwutleniająca TEAC miękiszu i skórki pieczywa pszenżytniego w zależności od dodatku kultur bakterii mlekowych

Część pieczywa	Aktywność przeciwutleniająca TEAC ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)									
	próbki kontrolne	Lacidoyone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Mięksisz	$5,00 \pm 0,10$	$5,54 \pm 0,04$	$5,73 \pm 0,09$	$5,34 \pm 0,07$	$6,00 \pm 0,02$	$6,92 \pm 0,02$	$6,78 \pm 0,04$	$5,80 \pm 0,14$	$5,63 \pm 0,08$	$6,14 \pm 0,05$
Skórka	$9,48 \pm 0,06$	$7,73 \pm 0,04$	$6,62 \pm 0,02$	$9,07 \pm 0,09$	$7,70 \pm 0,07$	$9,99 \pm 0,07$	$10,39 \pm 0,03$	$10,47 \pm 0,05$	$10,13 \pm 0,07$	$10,11 \pm 0,04$

Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa pszenżytniego zmieniała się zależnie od rodzaju stosowanego dodatku i jego stężenia. Użycie preparatu Lacidozone powodowało znaczny spadek aktywności przeciwutleniającej w stosunku do próbek kontrolnych ( $9,48 \pm 0,06 \mu\text{M}$  troloksu/g), który przy stężeniu 5% wynosił 20%, a przy stężeniu 10% – 30%. Z kolei przy stężeniu 15% uzyskano aktywność przeciwutleniającą o wartości  $9,07 \pm 0,09 \mu\text{M}$  troloksu/g. Wykorzystanie dodatku probiotycznego Mesophile Aromatic Type B do produkcji pieczywa powodowało wzrost aktywności przeciwutleniającej – tym większy, im większe było stężenie dodatku. Przy stężeniu 5% wartość TEAC wynosiła  $7,70 \pm 0,07 \mu\text{M}$  troloksu/g. Zwiększenie stężenia do 10% powodowało wzrost TEAC o 30%, a przy stężeniu 15% uzyskano poziom  $10,39 \pm 0,03 \mu\text{M}$  troloksu/g. Wraz ze wzrostem stężenia preparatu Trilac malała aktywność przeciwutleniająca. Najwyższy poziom TEAC wystąpił przy stężeniu 5% i wynosił  $10,47 \pm 0,05 \mu\text{M}$  troloksu/g, przy wzroście stężenia do 10% i 15% odnotowano spadek TEAC o, odpowiednio, 2% i 3% (tabela 14, rysunek 25).

#### 4.6.3.3. Aktywność przeciwutleniająca pieczywa pszennego

Zastosowanie preparatu Lacidozone w stężeniu 10% wpłynęło na wzrost aktywności przeciwutleniającej, która wynosiła  $5,29 \pm 0,04 \mu\text{M}$  troloksu/g i przekroczyła wartości kontrolne o 45%. W pozostałych stężeniach preparat ten powodował nieistotną zmianę aktywności przeciwutleniającej w stosunku do próbek kontrolnych (poziom  $3,28 \pm 0,04 \mu\text{M}$  troloksu/g przy stężeniu 5% i  $3,58 \pm 0,04 \mu\text{M}$  troloksu/g przy stężeniu 15%). Zastosowanie preparatu Mesophile Aromatic Type B pozwoliło uzyskać najwyższą aktywność przeciwutleniającą miękkiszu chleba przy stężeniu 10% ( $4,31 \pm 0,05 \mu\text{M}$  troloksu/g). Zmiana stężenia tego dodatku powodowała spadek aktywności przeciwutleniającej o 42% przy stężeniu 5-procentowym, przy stężeniu zaś 15-procentowym spadek ten był mniejszy i wyniósł 10%. Wraz ze zwiększaniem stężenia preparatu Trilac następował wzrost aktywności przeciwutleniającej od wartości  $1,73 \pm 0,08 \mu\text{M}$  troloksu/g przy stężeniu 5% do  $3,10 \pm 0,08 \mu\text{M}$  troloksu/g przy stężeniu 15% – zmiana o 79% (tabela 15). Badano także wpływ dodatku preparatów probiotycznych na zmianę aktywności przeciwutleniającej skórki pieczywa. Stwierdzono, że dodatek preparatów powodował wzrost aktywności przeciwutleniającej powyżej wartości kontrolnych. Zastosowanie Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 5% i 10% nie miało istotnego wpływu na zmiany aktywności przeciwutleniającej, która utrzymywała się na poziomie  $5,00 \pm 0,06 \mu\text{M}$  troloksu/g. Jednak wzrost stężenia tego dodatku do 15% skutkowało zwiększeniem TEAC o 19% (tabela 15). Aktywność przeciwutleniająca w przypadku zastosowania preparatu Trilac rosła wraz ze wzrostem jego stężenia. I tak, przy stężeniu 5% była równa  $2,48 \pm 0,02 \mu\text{M}$  troloksu/g, przy stężeniu 10% wzrosła o  $1,3 \mu\text{M}$  troloksu/g, a przy stężeniu 15% wynosiła  $4,30 \pm 0,09 \mu\text{M}$  troloksu/g. Dodatek Lacidozone w stężeniu 5% i 10% nie powodował znaczących zmian w aktywności przeciwutleniającej, utrzymywała się ona na poziomie  $4,18 \pm 4,42 \mu\text{M}$  troloksu/g. Zwiększenie stężenia tego preparatu do 15% wpłynęło na wzrost aktywności przeciwutleniającej o  $1,15 \pm 0,02 \mu\text{M}$  troloksu/g, czyli o 17% (tabela 15).



Tabela 15. Aktywność przeciwutleniająca TEAC miękiszu i skórki pieczywa pszennego w zależności od dodatku kultur bakterii mlekowych

Część pieczywa	Aktywność przeciwutleniająca TEAC ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)									
	próbki kontrolne	Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	2,89 $\pm 0,04$	3,28 $\pm 0,06$	5,29 $\pm 0,04$	3,58 $\pm 0,04$	2,49 $\pm 0,05$	4,31 $\pm 0,05$	3,86 $\pm 0,06$	1,73 $\pm 0,08$	2,19 $\pm 0,08$	3,10 $\pm 0,08$
Skórka	3,69 $\pm 0,03$	4,42 $\pm 0,05$	4,18 $\pm 0,04$	5,33 $\pm 0,02$	5,00 $\pm 0,07$	5,01 $\pm 0,06$	6,16 $\pm 0,03$	2,48 $\pm 0,02$	3,78 $\pm 0,02$	4,30 $\pm 0,09$

#### 4.6.3.4. Aktywność przeciwutleniająca pieczywa żytniego

Preparat Lacidozone nie powodował znaczących zmian aktywności przeciwutleniającej – utrzymywała się na zbliżonym poziomie i wyniosła od  $3,19 \pm 0,03 \mu\text{M}$  troloksu/g do  $3,40 \pm 0,05 \mu\text{M}$  troloksu/g (tabela 16). Przy 10-procentowym stężeniu dodatku wartość ta stanowiła 94% potencjału oksydoredukcyjnego próbek kontrolnych, przy stężeniu zaś 15% uzyskano wartości zbliżone do kontrolnych ( $3,40 \pm 0,05 \mu\text{M}$  troloksu/g). Pieczywo z dodatkiem preparatu Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 5% uzyskało aktywność przeciwutleniającą na poziomie  $4,15 \pm 0,02 \mu\text{M}$  troloksu/g. Zmiana stężenia tego dodatku do 10% i 15% powodowała spadek aktywności przeciwutleniającej o, odpowiednio, 35% i 64%. Zastosowanie preparatu Trilac nie wpłynęło znacząco na zmianę aktywności przeciwutleniającej, utrzymywała się ona na podobnym poziomie niezależnie od stosowanego stężenia. Najwyższy potencjał oksydoredukcyjny osiągnęła próba z dodatkiem preparatu Trilac w stężeniu 10% ( $1,77 \pm 0,10 \mu\text{M}$  troloksu/g), zmiana stężenia do 5% lub 15% powodowała spadek potencjału średnio o 16%.

Tabela 16. Aktywność przeciwutleniająca TEAC miękiszu i skórki pieczywa żytniego w zależności od dodatku kultur bakterii mlekowych

Część pieczywa	Aktywność przeciwutleniająca TEAC ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)									
	próbki kontrolne	Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	3,40 $\pm 0,09$	3,28 $\pm 0,03$	3,19 $\pm 0,03$	3,40 $\pm 0,05$	4,15 $\pm 0,02$	2,71 $\pm 0,03$	1,49 $\pm 0,05$	1,41 $\pm 0,02$	1,77 $\pm 0,10$	1,55 $\pm 0,02$
Skórka	6,84 $\pm 0,03$	5,26 $\pm 0,09$	5,39 $\pm 0,08$	5,45 $\pm 0,03$	4,41 $\pm 0,05$	4,42 $\pm 0,10$	2,64 $\pm 0,03$	2,64 $\pm 0,03$	4,98 $\pm 0,06$	5,98 $\pm 0,10$

Aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa żytniego, niezależnie od rodzaju wykorzystanego preparatu i jego stężenia, utrzymywała się poniżej wartości kontrolnych ( $6,84 \pm 0,03 \mu\text{M}$  troloksu/g). Dodatek preparatu Lacidozone powodował, że potencjał oksydoredukcyjny, niezależnie od zastosowanego stężenia, utrzymywał się na poziomie zbliżonym do wartości kontrolnych. Dodatek preparatu Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 15% powodował spadek aktywności przeciwutleniającej do wartości  $2,64 \pm 0,03 \mu\text{M}$  troloksu/g.

Przy zmianie stężenia tego dodatku do 5% i 10% wystąpił wzrost aktywności przeciwutleniającej o około 67% w stosunku do stężenia 15%.

Zmiana stężenia preparatu Trilac z 5% do 15% powodowała wzrost aktywności przeciwutleniającej. I tak, przy stężeniu 5% aktywność przeciwutleniająca wyniosła  $2,64 \pm 0,03$   $\mu\text{M}$  troloksu/g, przy stężeniu 10% wzrosła o 71%, a przy stężeniu 15% nastąpił wzrost o kolejne 20% i ostateczna wartość wynosiła  $5,98 \pm 0,03$   $\mu\text{M}$  troloksu/g (tabela 16).

#### 4.6.4. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH

##### 4.6.4.1. Wiadomości ogólne

Niezależnie od rodzaju pieczywa skórka charakteryzowała się wyższą zdolnością zmiatania wolnych rodników DPPH niż miękisz. Skórka próbek kontrolnych pieczywa pszenne osiągnęła dwa razy większą zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH ( $0,582 \pm 0,004$   $\mu\text{M}$  troloksu/g). Dla pieczywa żytniego wzrost ten wyniósł 34%, a dla pieczywa pszenżytniego 6% (tabela 17).

Tabela 17. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH ( $\mu\text{M}$  troloksu/g) w miększu i skórce pieczywa bez dodatku probiotycznego

Część pieczywa	Rodzaj pieczywa		
	pszenne	żytnie	pszenżytnie
Miękisz	$0,285 \pm 0,013$	$0,623 \pm 0,013$	$0,792 \pm 0,000$
Skórka	$0,582 \pm 0,004$	$0,834 \pm 0,003$	$0,840 \pm 0,001$

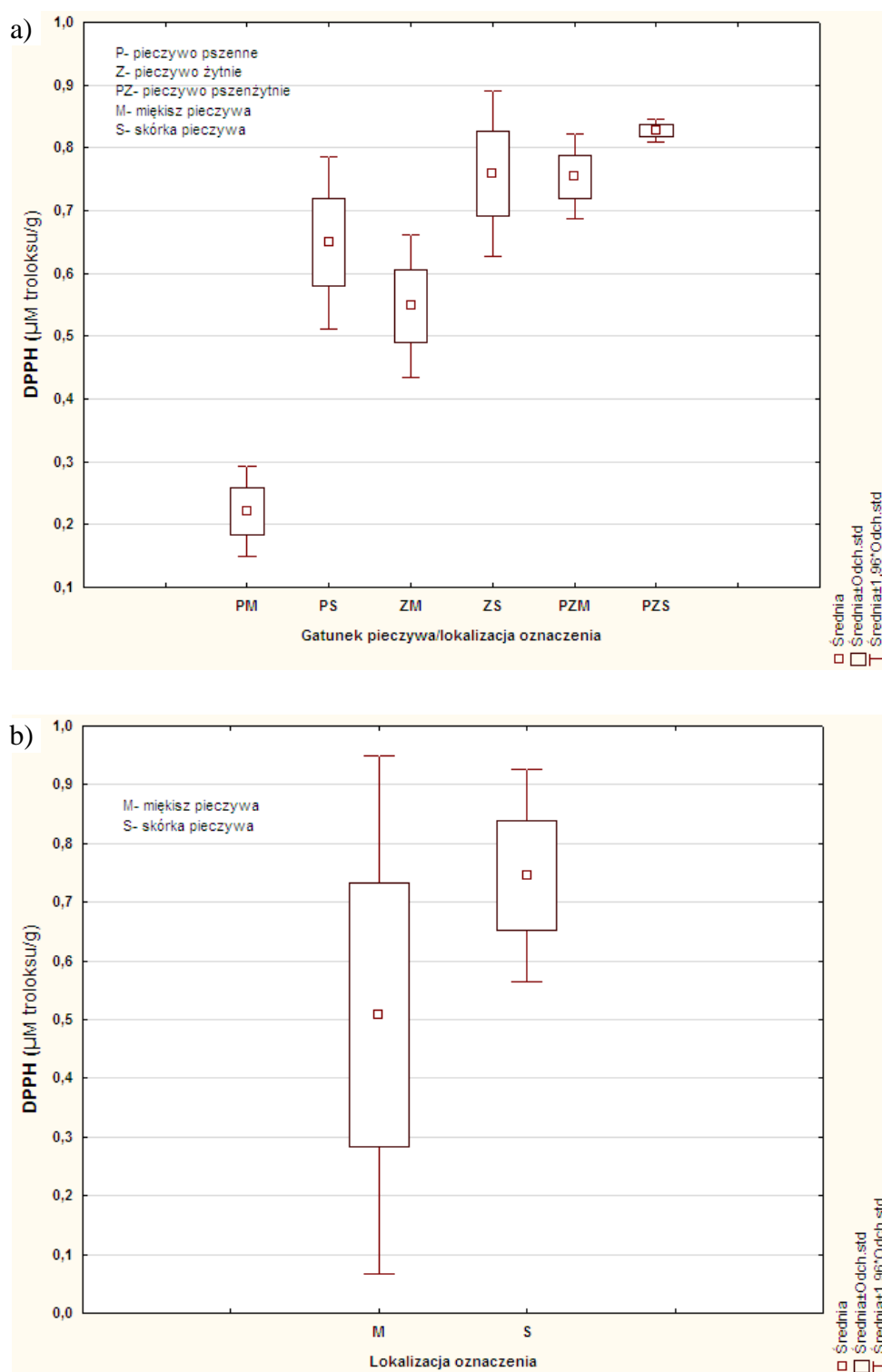
##### 4.6.4.2. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w pieczywie pszenżytnim

Po zastosowaniu preparatu Lacidozone, niezależnie od jego stężenia, otrzymano taki sam poziom zdolności wiązania wolnych rodników DPPH, który wynosił około  $0,760$   $\mu\text{M}$  troloksu/g. Preparat Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 10% pozwolił uzyskać zdolność wiązania wolnych rodników na poziomie  $0,800 \pm 0,003$   $\mu\text{M}$  troloksu/g. Przy stężeniu 5-procentowym nastąpił spadek tej zdolności do wartości  $0,783 \pm 0,009$   $\mu\text{M}$  troloksu/g, w przypadku zaś stężenia 15-procentowego spadek o 9%. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w przypadku wykorzystania preparatu Trilac, niezależnie od jego stężenia, utrzymywała się na zbliżonym poziomie i wynosiła  $0,686 \pm 0,012$   $\mu\text{M}$  troloksu/g przy stężeniu 5-procentowym oraz  $0,746 \pm 0,005$   $\mu\text{M}$  troloksu/g przy stężeniu 15-procentowym (tabela 18).

Tabela 18. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w miększu i skórce pieczywa pszenżytniego w zależności od dodatku kultur bakterii mlekowych

Część pieczywa	próbki kontrolne	Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)								
		Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	$0,792 \pm 0,000$	$0,764 \pm 0,001$	$0,764 \pm 0,001$	$0,760 \pm 0,004$	$0,784 \pm 0,009$	$0,800 \pm 0,003$	$0,727 \pm 0,010$	$0,686 \pm 0,012$	$0,721 \pm 0,011$	$0,746 \pm 0,005$
Skórka	$0,840 \pm 0,001$	$0,824 \pm 0,002$	$0,811 \pm 0,006$	$0,816 \pm 0,008$	$0,823 \pm 0,008$	$0,829 \pm 0,001$	$0,836 \pm 0,001$	$0,833 \pm 0,003$	$0,835 \pm 0,001$	$0,833 \pm 0,001$

Analizowano także zmiany zdolności wiązania wolnych rodników DPPH w skórce pieczywa pszenżytniego. Stwierdzono, że niezależnie od stężenia i rodzaju stosowanego preparatu probiotycznego, nie nastąpiły znaczące zmiany aktywności przeciwutleniającej wobec DPPH w stosunku do próbek kontrolnych. Wyniosła ona 0,84  $\mu\text{M}$  troloksu/g (rysunek 26).



Rysunek 26. Średnia wartość zdolności zmiatania wolnych rodników DPPH: a) dla gatunku pieczywa; b) dla mięksizu i skórki

#### 4.6.4.3. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w pieczywie pszennym

Preparat Lacidozone, w zależności od zastosowanego stężenia, wpłynął znacząco na zdolność wiązania wolnych rodników DPPH zarówno w mięksiszu, jak i skórce. W przypadku mięksiszu pieczywo pszenne uzyskało najwyższy poziom zdolności wiązania wolnych rodników DPPH ( $0,272 \pm 0,012 \mu\text{M}$  troloksu/g) przy stężeniu 15%. Obniżenie stężenia tego dodatku do 10% powodowało spadek tej zdolności o 40%, a przy stężeniu 5-procentowym spadek ten wynosił 30%. Analizując skórkę pieczywa pszennego, stwierdzono, że zastosowanie preparatu Lacidozone w stężeniu 5% powodowało największą zdolność wiązania wolnych rodników DPPH, równą  $0,731 \pm 0,004 \mu\text{M}$  troloksu/g, co oznacza wzrost o 25% względem próbek kontrolnych. Przy wzroście stężenia tego preparatu do 10% i 15% zauważano spadek zdolności wiązania wolnych rodników DPPH o, odpowiednio, 15% i 6%. Zwiększenie stężenia preparatu Mesophile Aromatic Type B powodowało wzrost aktywności przeciwutleniającej mięksiszu i skórki pieczywa. Przy stężeniu 5% zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH wynosiła  $0,233 \pm 0,013 \mu\text{M}$  troloksu/g, przy stężeniu 10% wartość ta była równa  $0,200 \pm 0,013 \mu\text{M}$  troloksu/g, a przy stężeniu 15% –  $0,188 \pm 0,009 \mu\text{M}$  troloksu/g. Zastosowanie tego dodatku w stężeniu 5% pozwoliło uzyskać aktywność przeciwutleniającą skórki pieczywa na poziomie  $0,628 \pm 0,014 \mu\text{M}$  troloksu/g, wzrost zaś stężenia do 10% i 15% powodował spadek tej zdolności o 5% do poziomu  $0,601 \pm 0,007 \mu\text{M}$  troloksu/g. Przy 5- i 15-procentowym stężeniu preparatu Trilac otrzymano taką samą zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH (około  $0,200 \mu\text{M}$  troloksu/g), zmiana zaś stosowanego stężenia do 10% powodowała wzrost tej zdolności o 9%. W przypadku skórki wykorzystanie preparatu Trilac w stężeniu 15% powodowało największą zdolność wiązania wolnych rodników DPPH, równą  $0,789 \pm 0,004 \mu\text{M}$  troloksu/g. Spadek stosowanego stężenia do 10% skutkował zmniejszeniem potencjału oksydoredukcyjnego o 11%. Najmniejszą zdolność wiązania wolnych rodników DPPH wykazało pieczywo z dodatkiem preparatu Trilac w stężeniu 5% ( $0,562 \pm 0,001 \mu\text{M}$  troloksu/g) – tabela 19.

Tabela 19. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w mięksiszu i skórce pieczywa pszennego w zależności od dodatku kultur bakterii mlekowych

Część pieczywa	Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)									
	próbki kontrolne	Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	0,285 $\pm 0,013$	0,189 $\pm 0,011$	0,164 $\pm 0,013$	0,272 $\pm 0,012$	0,233 $\pm 0,001$	0,200 $\pm 0,013$	0,188 $\pm 0,009$	0,219 $\pm 0,002$	0,239 $\pm 0,007$	0,224 $\pm 0,009$
Skórka	0,582 $\pm 0,004$	0,731 $\pm 0,004$	0,624 $\pm 0,007$	0,679 $\pm 0,007$	0,628 $\pm 0,014$	0,601 $\pm 0,007$	0,601 $\pm 0,007$	0,562 $\pm 0,001$	0,697 $\pm 0,006$	0,789 $\pm 0,004$

#### 4.6.4.4. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w pieczywie żytnim

Zastosowanie preparatu Lacidozone w każdym stężeniu powodowało utrzymanie zdolności zmiatania wolnych rodników DPPH na zbliżonym poziomie – około  $0,555 \mu\text{M}$  troloksu/g w mięksiszu oraz około  $0,800 \mu\text{M}$  troloksu/g w skórce pieczywa żytniego. Dodatek prepa-

ratu Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 10% powodował największą zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w miększu pieczywa ( $0,604 \pm 0,005 \mu\text{M}$  troloksu/g). Zmiana stężenia tego preparatu do 5% lub 15% powodowała spadek tej zdolności o około 36%. Zauważono, że zastosowanie preparatu Mesophile Aromatic Type B, niezależnie od stosowanego stężenia, wpłynęło na osiągnięcie zdolności zmiatania wolnych rodników DPPH w skórce pieczywa na zbliżonym poziomie ( $0,68 \mu\text{M}$  troloksu/g). Badano wpływ dodatku Trilac na zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w miększu i skórce pieczywa. Stwierdzono, że w przypadku miększu dodatek ten, niezależnie od stosowanego stężenia, nie powodował znaczących zmian w aktywności przeciwutleniającej – przy stężeniu 5% i 10% wynosiła ona  $0,555 \pm 0,001 \mu\text{M}$  troloksu/g, a przy stężeniu 15% –  $0,592 \pm 0,009 \mu\text{M}$  troloksu/g. Dla skórki pieczywa najwyższą wartość ( $0,838 \pm 0,001 \mu\text{M}$  troloksu/g) zaobserwowano przy zastosowaniu stężenia 10% i 15%, zmniejszenie zaś stężenia tego dodatku powodowało spadek aktywności przeciwutleniającej o około 20% do poziomu  $0,67 \mu\text{M}$  troloksu/g (tabela 20).

Tabela 20. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH w miększu i skórce żytniego w zależności od dodatku kultur bakterii mlekowych

Część pieczywa	Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH ( $\mu\text{M}$ troloksu/g)									
	próbki kontrolne	Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	$0,623 \pm 0,013$	$0,532 \pm 0,003$	$0,557 \pm 0,010$	$0,567 \pm 0,08$	$0,452 \pm 0,006$	$0,604 \pm 0,005$	$0,440 \pm 0,009$	$0,555 \pm 0,010$	$0,564 \pm 0,011$	$0,592 \pm 0,009$
Skórka	$0,834 \pm 0,003$	$0,787 \pm 0,017$	$0,755 \pm 0,017$	$0,804 \pm 0,06$	$0,695 \pm 0,013$	$0,690 \pm 0,004$	$0,680 \pm 0,008$	$0,669 \pm 0,000$	$0,837 \pm 0,002$	$0,838 \pm 0,001$

#### 4.6.5. Zawartość polifenoli

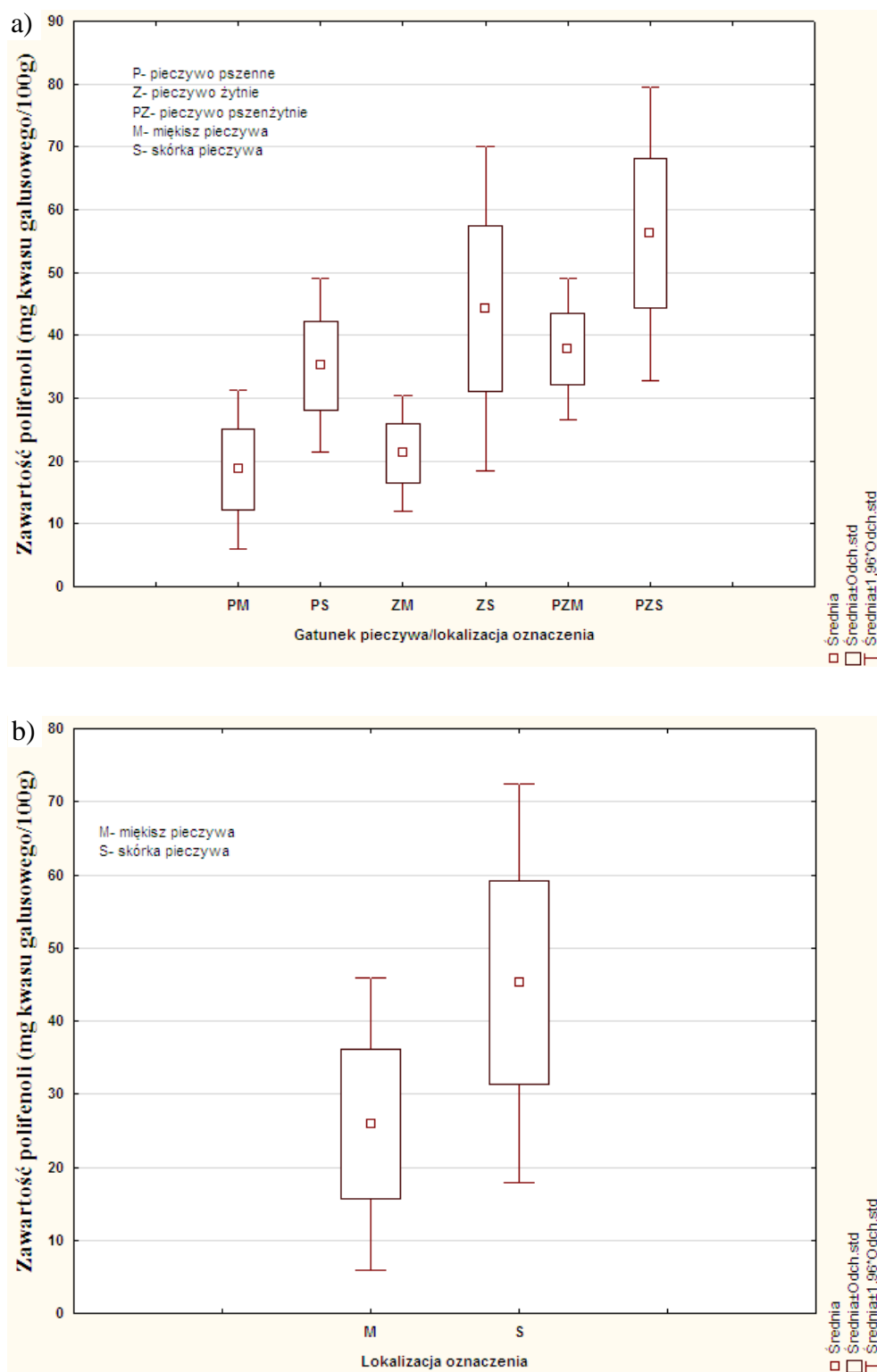
##### 4.6.5.1. Wiadomości ogólne

Niezależnie od rodzaju pieczywa skórka wykazała większą zawartość polifenoli niż miękisz. Największa różnica dotyczyła pieczywa żytniego (160%), pszenżytniego (120%), a najmniejsza – pszennego (105%). Największą zawartością polifenoli charakteryzowało się pieczywo pszenżytnie –  $32,5 \pm 0,4$  mg kwasu galusowego/100 g miększu i  $71,8 \pm 0,1$  mg kwasu galusowego/100 g skórki. Najmniejsza zawartość polifenoli występowała w pieczywie pszennym –  $12,6 \pm 0,8$  mg kwasu galusowego/100 g miększu i  $25,8 \pm 0,7$  mg kwasu galusowego/100 g skórki (tabela 21, rysunek 27).

Tabela 21. Zawartość polifenoli (mg kwasu galusowego/100 g) w miększu i skórce pieczywa

Część pieczywa	Rodzaj pieczywa		
	pszenne	żytnie	pszenżytnie
Miękisz	$12,6 \pm 0,8$	$20,0 \pm 0,5$	$32,5 \pm 0,5$
Skórka	$25,8 \pm 0,7$	$53,0 \pm 0,5$	$71,9 \pm 0,1$

Badano także wpływ dodatku kultur bakterii mlekowych na zawartość polifenoli w pieczywie. Stwierdzono, że zawartość ta zmieniała się zależnie od rodzaju stosowanego preparatu, jego stężenia czy też od rodzaju pieczywa, w jakim dodatek został zastosowany.



Rysunek 27. Wpływ dodatku wybranych preparatów kultur bakterii mlekowych na zawartość polifenoli (wartości średnie) w: a) pieczywie; b) miększu i skórce

#### 4.6.5.2. Zawartość polifenoli w pieczywie pszenżytnim

Zastosowanie preparatu Lacidozone w stężeniu 10% powodowało wzrost zawartości polifenoli do poziomu  $41,1 \pm 1,1$  mg kwasu galusowego/100 g, zwiększenie zaś stężenia preparatu do 15% wpłynęło na spadek zawartości polifenoli do poziomu  $39,0 \pm 1,2$  mg kwasu galusowego/100 g. Użycie preparatu Mesophile Aromatic Type B pozwoliło uzyskać wyższą ilość polifenoli przy stężeniach 5% i 10% (o, odpowiednio,  $42,8 \pm 0,1$  i  $50,5 \pm 0,6$  mg kwasu galusowego/100 g), natomiast przy stężeniu 15% odnotowano spadek ich zawartości do poziomu  $31,67 \pm 0,3$  mg/100 g. Wykorzystanie preparatu Trilac wpłynęło na wzrost zawartości polifenoli średnio o 11% w stosunku do próbek kontrolnych ( $32,5 \pm 0,4$  mg/100 g) – tabela 22. Najwyższą zawartość polifenoli w skórce pieczywa pszenżytniego odnotowano w przypadku zastosowania preparatu Lacidozone, zwłaszcza w stężeniu 15%, natomiast najniższą po wykorzystaniu preparatu Trilac, niezależnie od stosowanego stężenia. Jedynie dodatek Lacidozone w stężeniu 15% pozwolił uzyskać zawartość polifenoli wyższą niż w próbkach kontrolnych (tabela 22).

Tabela 22. Zawartość polifenoli w miększu i skórce pieczywa

Część pieczywa	Zawartość polifenoli (mg kwasu galusowego/100 g)									
	próbki kontrolne	Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	32,5 $\pm 0,4$	33,8 $\pm 0,4$	41,0 $\pm 1,1$	39,0 $\pm 1,2$	40,1 $\pm 0,7$	52,2 $\pm 0,2$	31,7 $\pm 0,3$	36,9 $\pm 0,5$	36,1 $\pm 0,8$	35,3 $\pm 0,7$
Skórka	71,8 $\pm 0,1$	62,8 $\pm 0,8$	61,2 $\pm 0,4$	75,4 $\pm 0,3$	42,8 $\pm 0,7$	50,5 $\pm 0,6$	63,9 $\pm 0,3$	43,4 $\pm 0,3$	44,0 $\pm 0,5$	46,0 $\pm 0,9$

#### 4.6.5.3. Zawartość polifenoli w pieczywie pszennym

Dodatek preparatu Lacidozone prowadził do wzrostu zawartości polifenoli w miększu pieczywa do poziomu  $24,9 \pm 0,5$  mg kwasu galusowego/100 g w przypadku wykorzystania 10-procentowego stężenia tego preparatu. Dalszy wzrost stężenia preparatu do 15% powodował spadek zawartości polifenoli do  $21,3 \pm 0,2$  mg kwasu galusowego/100 g, co stanowiło około 14% wartości kontrolnej. Preparat Mesophile Aromatic Type B i preparat Lacidozone miały podobny wpływ na zawartość polifenoli w miększu. Zastosowanie preparatu Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 5% skutkowało zawartością na poziomie  $15,7 \pm 0,48$  mg kwasu galusowego/100 g. Wzrost stężenia do 10% powodował podwojenie zawartości polifenoli, a do 15% skutkowało spadkiem ich zawartości do poziomu  $23,4 \pm 0,4$  mg kwasu galusowego/100 g. Pieczywo z dodatkiem preparatu Trilac w stężeniu 10% wykazało najmniejszą zawartość polifenoli, która wynosiła  $11,4 \pm 0,5$  mg kwasu galusowego/100 g, przy stężeniu zaś 5% i 15% wartość tego parametru utrzymywała się na zbliżonym poziomie i wynosiła 14,00 mg kwasu galusowego/100 g (tabela 23). Analizowano także wpływ dodatku preparatów kultur bakterii mlekowych na zawartość polifenoli w skórce pieczywa pszennego. Zastosowanie

preparatów Lacidozone i Mesophile Aromatic Type B pozwoliło uzyskać wyższą zawartość polifenoli niż w próbkach kontrolnych, przy czym najwyższą wartość wykazał chleb z dodatkiem preparatu Lacidozone w stężeniu 5% ( $47,9 \pm 0,9$  mg kwasu galusowego/100 g) i Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 10% ( $43,6 \pm 0,1$  mg kwasu galusowego/100 g). Dodatek preparatu Trilac w stężeniu 5% wpłynął na nieznaczne obniżenie zawartości polifenoli, natomiast zwiększenie stężenia do 10% lub 15% powodowało wzrost zawartości polifenoli do poziomu 33–34 mg kwasu galusowego/100 g.

Tabela 23. Zawartość polifenoli w miększu i skórce pieczywa

Część pieczywa	Zawartość polifenoli (mg kwasu galusowego/100 g)									
	próbki kontrolne	Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	12,6 $\pm 0,8$	16,0 $\pm 0,6$	24,9 $\pm 0,5$	21,3 $\pm 0,2$	15,7 $\pm 0,5$	32,5 $\pm 0,2$	23,4 $\pm 0,5$	14,7 $\pm 0,4$	11,4 $\pm 0,5$	14,2 $\pm 0,8$
Skórka	25,8 $\pm 0,7$	47,9 $\pm 0,2$	35,6 $\pm 0,3$	39,1 $\pm 0,9$	34,8 $\pm 0,6$	43,6 $\pm 0,1$	34,4 $\pm 0,2$	23,4 $\pm 0,7$	34,2 $\pm 0,5$	33,0 $\pm 0,4$

#### 4.6.5.4. Zawartość polifenoli w pieczywie żytnim

Stwierdzono, że wraz ze wzrostem ilości preparatu Lacidozone rosła zawartość polifenoli – przy stężeniu 5% zawartość polifenoli wynosiła  $18,0 \pm 0,5$  mg kwasu galusowego/100 g, a przy stężeniu 15% osiągnęła poziom  $22,7 \pm 0,1$  mg kwasu galusowego/100 g. Preparat Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 5% i 15% wpłynął na spadek zawartości polifenoli do wartości, odpowiednio,  $14,3 \pm 0,8$  mg kwasu galusowego/100 g i  $16,2 \pm 0,8$  mg kwasu galusowego/100 g. Natomiast stężenie 10-procentowe powodowało wzrost zawartości polifenoli do poziomu  $31,7 \pm 0,4$  mg kwasu galusowego/100 g. Najlepsze działanie wykazał preparat Trilac, który powodował wzrost zawartości polifenoli do wartości  $24,2 \pm 0,3$  mg kwasu galusowego/100 g. Zawartość polifenoli w skórce pieczywa żytniego w większości przypadków była niższa niż w próbkach kontrolnych. Wyjątek stanowiły próbki z dodatkiem preparatów Mesophile Aromatic Type B w stężeniu 5% i Trilac w stężeniu 10% i 15%, w których nastąpił wzrost zawartości polifenoli o 13–17% (tabela 24).

Tabela 24. Zawartość polifenoli w miększu i skórce pieczywa

Część pieczywa	Zawartość polifenoli (mg kwasu galusowego/100 g)									
	próbki kontrolne	Lacidozone (%)			Mesophile Aromatic Type B (%)			Trilac (%)		
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Miękisz	20,0 $\pm 0,5$	17,9 $\pm 0,4$	20,9 $\pm 0,7$	22,7 $\pm 0,1$	14,3 $\pm 0,8$	31,7 $\pm 0,4$	16,2 $\pm 0,8$	21,6 $\pm 0,3$	22,7 $\pm 0,5$	24,2 $\pm 0,3$
Skórka	52,9 $\pm 0,5$	41,6 $\pm 0,6$	39,1 $\pm 0,9$	46,8 $\pm 0,8$	60,8 $\pm 1,0$	26,8 $\pm 0,6$	31,9 $\pm 0,3$	24,8 $\pm 0,9$	61,7 $\pm 0,6$	56,2 $\pm 0,5$





## 5. Dyskusja

Pozytywne nastawienie konsumentów do żywności ekologicznej powoduje, że wyroby tego typu zyskują coraz większe znaczenie w gospodarce żywnościowej Unii Europejskiej (np. Szwecja 10%). Problemy technologiczne pojawiają się w przypadku wykorzystywania mąk o niespecyficznej przydatności technologicznej. Do tych gatunków możemy zaliczyć mąki pozyskiwane z pszenżyta, zboża do tej pory mało wykorzystywanego, a mającego walory odżywcze. Pieczywo pszenżytnie charakteryzuje się wyższą zawartością lizyny niż pieczywo pszenne (Jarosz 1998). Popularność tych produktów jest spowodowana poszukiwaniem nowych wyrobów na rynku (koniunktura gospodarcza) oraz walorami tzw. zdrowej żywności ekologicznej. Wartość odżywcza pszenżyta jest zbliżona do pszenicy i żyta. Uprawiane jest na całym świecie. Głównymi producentami są: Polska, Rosja, Niemcy oraz Kanada (Hosseinian i Mazza 2009). Uprawy pszenżyta są wykorzystywane głównie w celu pozyskania pasz, jednakże, jak donoszą Hosseinian i Mazza (2009), pszenżyto może być nowym, cennym źródłem związków fenolowych, proantocyjanów i lignin. Niektórzy autorzy zwracają również uwagę na pszenżyto jako bogate źródło aminokwasów egzogennych, zwłaszcza lizyny, a także węglowodanów, błonnika, składników mineralnych i tłuszczów (Podolska 2008). Według wielu autorów pszenżyto jest interesującym alternatywnym surowcem do produkcji pieczywa, mogącym w części zastąpić pieczywo pszenne. Przemawia za tym większa odporność na stres, spowodowany głównie warunkami środowiskowymi, ale także odporność na ubogie warunki uprawy (Estrada-Campuzano i in. 2008). Jak donoszą Tohver i in. (2005), uprawa pszenżyta w krajach Europy Wschodniej i Środkowej (Czechy, Polska, Estonia, Austria) oraz Zachodniej (Niemcy, Portugalia), a także USA, Kanadzie i Australii uzyskała wysoki poziom wydajności dzięki adaptacji poszczególnych odmian do warunków klimatycznych danego kraju. Do podobnych wniosków dochodzą autorzy prac o uprawach pszenżyta w basenie Morza Śródziemnego (Santiveri i in. 2004). Powyższe doświadczenia dowodzą, że pszenżyto może być surowcem do otrzymania nowoczesnej żywności o właściwościach prozdrowotnych.

W pierwszej części eksperymentu opisywanego w niniejszej pracy podjęto próbę oszacowania właściwości technologicznych mąk z dostępnych rodów pszenżyta za pomocą podstawowych analiz laboratoryjnych dla mąk pszenicznych oraz żytnich. Testy dowiodły, że mąka pszenżytnia zdecydowanie odbiegała parametrami od standardowej mąki pszennej. Otrzymane wyniki wskazują, że najlepszą odmianą pszenżyta było *Moderato*. Liczba opadania mąki pozyskanej z tej odmiany uprawianej konwencjonalnie wyniosła 64,5 s, co było najwyższą wartością w tej grupie mąk. W przypadku ekologicznego systemu upraw pszenżyta odmiana *Moderato* osiągnęła średnią liczbę opadania 119, która istotnie przewyższała wyniki uzyskane dla pozostałych odmian (średnie oscyływały w granicy 61–66,5 s). Średni wskaźnik testu sedymentacji dla mąk pszenżytnich nie zależał istotnie od systemu uprawy (13–14 ml), jednakże odbiegał zdecydowanie od wartości uzyskanych dla mąki pszennej kontrolnej.

Większe wahania zanotowano w przypadku mąk ekologicznych. Najniższe wartości uzyskano dla odmian *Vitalis* i *Baltico*.

Wodochłonność mąk pszenżytnich pozyskanych z ziarna z upraw konwencjonalnych była wyższa średnio o 0,8% w stosunku do mąk pszenżytnich ekologicznych. Próbka kontrolna (mąka pszenna) wykazywała istotnie wyższą wodochłonność w porównaniu z formą konwencjonalną mąki pszenżytniej (średnio 2,5%), a wodochłonność formy ekologicznej mąki pszenżytniej była wyższa (średnio o 0,8%). Przyczyn tego zjawiska należy szukać w jakości glutenu jako podstawowego czynnika strukturotwórczego w powiązaniu z aktywnością enzymatyczną mąki. Prowadzone badania nad zachowaniem glutenu mokrego pod wpływem dodanych preparatów potwierdziły spadek elastyczności oraz rozpuszczalności glutenu, co skutkowało obniżeniem jego klasy do drugiej, a nawet czwartej (Iwański i in. 2006). Aktywność enzymatyczna mąki jest uzależniona od wielu czynników, takich jak warunki klimatyczne, odmiana ziarna, warunki jego przechowywania i sposób przemiału (Rani i in. 2001). Za jakość pieczywa, zarówno sensoryczną, jak i strukturalną, odpowiadają głównie dwa podstawowe składniki ziarna – polisacharyd zapasowy (skrobia) oraz białka (prolaminy II i prolaminy I), tworzące tzw. gluten (gliadyny i gluteliny) – Gąsiorowski i in. (2004).

Produkowane obecnie mąki, dzięki odpowiedniej korekcji, charakteryzują się dobrymi właściwościami wypiekowymi. Potwierdzeniem są wyniki liczby opadania, które wskazują na niską aktywność enzymów własnych mąki pszennej oraz średnią aktywność enzymów mąki żytniej. O zdolnościach wypiekowych zarówno mąki pszennej, jak i żytniej decydują w dużym stopniu enzymy własne (Sproessler 1993). Wpływają one bezpośrednio na proces fermentacji, co odzwierciedla się w objętości wyrobu. Aktywność enzymów wzrasta wraz z wilgotnością mąki. Temu zjawisku towarzyszy jednak niebezpieczeństwo mikrobiologicznego zepsucia surowca. Można zatem mówić o koniecznym kompromisie między wysoką aktywnością enzymów własnych mąki a produkcją pieczywa o wysokiej wilgotności. Według Godfrey i Reichelt (1983) opisany powyżej kompromis w przypadku niskich typów mąk uzasadnia zastosowanie dodatku enzymów amylolitycznych w procesie produkcji pieczywa. Alternatywą może być tutaj zmiana systemu uprawy zbóż z konwencjonalnego na ekologiczny.

W drugiej części eksperymentu oceniano zachowanie się poszczególnych próbek mąki pszenżytniej w teście farinograficznym. Oznaczono również wpływ dwóch preparatów starterowych fermentacji mlekowej. Probiotyczne właściwości niektórych szczepów z gatunku *Lactobacillus* są znane od dawna. Pierwszym udowodnionym przypadkiem aktywności prozdrowotnej tej mikroflory jest wykorzystanie jej do produkcji kefiru w regionie Kaukazu (Lopitz-Otsoa i in. 2006). Według wielu autorów probiotyki przywracają i zachowują naturalną mikroflorę przewodu pokarmowego, chronią organizm przed drobnoustrojami, wspomagają system immunologiczny i funkcje organizmu (Spelhaug i Harlander 1989, Melander i in. 1997, Bielecka 2002). Niektórzy autorzy określają pieczywo wyprodukowane z udziałem kultur starterowych jako mające walor żywności ekologicznej (Włodarczyk i Diowski 1998). Odnotowuje się polepszenie pracy układu pokarmowego po spożyciu wyrobów mleczarskich produkowanych z wykorzystaniem kultur kwasu mlekowego. Autorzy wskazują, że niektóre bakterie probiotyczne mogą przetrwać wypiek pieczywa (Ouwehand i Salmine 1998). Według Wojtatowicz i Chrzanowskiej (1998) bakterie kwasu mlekowego mają status GRAS i polep-

szają parametry żywności, takie jak: cechy sensoryczne, trwałość i bezpieczeństwo mikrobiologiczne. Zwiększają też wartość odżywczą. Świadczyć może o tym wprowadzenie bakterii kwasu mlekowego jako dodatku do żywności w krajach Unii Europejskiej od 1998 roku. Według Iwańskiego i in. (2012) egzopolisacharydy produkowane przez bakterie mlekowe wykazują korzystny wpływ na właściwości (jedną lub więcej) ciasta lub chleba, tj:

- cechy reologiczne ciasta podczas obróbki (mieszenie, dzielenie, kształtowanie),
- stabilność ciasta w czasie składowania zamrażalniczego,
- objętość bochenka,
- czerstwienie pieczywa.

Postanowiono przeanalizować wpływ dwóch preparatów bakterii kwasu mlekowego i ocenić ich rolę w kształtowaniu właściwości reologicznych ciasta pszenżytniego. Podjęto również próbę oszacowania ich potencjalnego wpływu na możliwości przechowalnicze pieczywa pszenżytniego. Aplikowany w doświadczeniu preparat *Mezophile Aromatic Type B* jest standardowym preparatem wykorzystywanym w mleczarstwie. Z kolei preparat *Trilac* jest stosowany jako lek osłonowy w terapiach antybiotykowych. Bakterie probiotyczne pochodzące z tych dwóch preparatów mogą odgrywać rolę uzupełniającą w stosunku do drożdży piekarskich jako głównego spulchniacza (Pretorius i in. 2003). Dzięki obecności bakteriocyn przy produkcji kwasu mlekowego można regulować procesy fermentacyjne oraz smakowe. Namnożone w czasie 24 h szczepy bakterii kwasu mlekowego dodawano w procesie mieszenia ciasta. Aby zachować przejrzystość doświadczenia, postanowiono nie dodawać dodatkowych porcji mąk standardowych w celu polepszenia właściwości reologicznych. Takie zabiegi często są stosowane np. w przypadku pieczywa żytniego, w którym dodatek mąki pszennej, przewidziany PN-92/A-74101:1996, wynosi do 10%. Na podstawie tej przesłanki przeprowadzono doświadczenie, które potwierdziło, że dodatek mąki pszennej w ilości 5% bądź żytniej w ilości 10% skutecznie poprawiał parametry reologiczne ciasta pszenżytniego (Iwański 2011). Niewiele jest prac na temat wpływu kultur bakterii kwasu mlekowego na właściwości reologiczne produktów zbożowych (Gąsiorowski 1994). W literaturze można znaleźć prace dotyczące reologii ciasta pszennego i żytniego (Gobetti i in. 2005), jednakże z powodu trudności technologicznych zainteresowanie badaczy analizą wpływu ekologicznych systemów uprawy na właściwości pieczywa jest małe. Zrezygnowano ze standardowej metody zakwaszania ze względu na wykluczenie wpływu dodatkowej puli mąki żytniej, chociaż według Włodarczyk i Diowks (1995) tradycyjne ukwaszenie ciasta, oparte na fermentacji mlekowo-etanolowej pod wpływem spontanicznej fermentacji mąki żytniej, jest możliwe. Proces ten jest wielofazowy i wymaga gruntownej wiedzy zawodowej, co potwierdzają Piesiewicz (1994) oraz Staszewska i Piesiewicz (2005b). Można zauważyć powszechny trend do skrącania procesu technologicznego, czemu służy wykorzystanie kultur starterowych, pozwalających na szybkie zapoczątkowanie procesu ukwaszenia ciasta, a ponadto otrzymanie chleba o ukształtowanym smaku i aromacie (Diowks 2006a, b, Staszewska i Piesiewicz 2005a). Powyższe potwierdzają również Jankiewicz i Michniewicz (1995), którzy uważają, że równie ważne jak spulchnianie ciasta jest wytworzenie w nim związków chemicznych zaliczanych do tzw. prekursorów, kształtujących smakowość i aromat charakterystyczny dla świeżego chleba tradycyjnego. Według tych autorów korzystne jest, oprócz zastosowania starterów fermentacyjnych,

tacji mlekowej, wzmocnienie aromatu przez zastosowanie pochodnych kwasu mlekowego, takich jak mleczan wapnia i mleczan sodu. Według Güla i in. (2005) próbki pieczywa z 1,5-procentowym dodatkiem szczepów LAB uzyskały najgorsze wyniki w testach reologicznych, stąd wybór zwiększonego dodatku kultur bakterii kwasu mlekowego do ciasta. Według Crowleya i in. (2002) dodatek do ciasta 20% zakwasu piekarskiego redukuje jędrność i stałość miększu, co jest zjawiskiem niekorzystnym.

Pierwsza faza badań opisanych w niniejszej pracy dowiodła, że technologicznie zasadny w każdym oznaczonym przypadku był 5-procentowy dodatek startera fermentacji mlekowej. Dalsze testy wykazały, że nie nastąpiła istotna statystycznie odchyłka w stosunku do próbek kontrolnych, co potwierdziło celowość zastosowania tej proporcji w dalszych badaniach. Ukwaszanie jest możliwe jedynie w przypadku mąki żytniej. Mąka uzyskana z żyta ma specyficzne właściwości. Podobnie jak mąka pszenna zawiera kompleks węglowodanowy i białkowy (Czarnecki i Michniewicz 2000). Jednakże mąka pszenna i żytnia różnią się zasadniczo pod względem jakości zarówno kompleksu białkowego, jak i cukrowego. W przypadku kompleksu białkowego w mące żytniej występują takie same białka (gliadyny i gluteliny), jednak nie tworzą struktury zwanej glutenem. Prowadzi to do niskiej elastyczności ciasta, co sprawia trudności podczas jego obróbki mechanicznej. Dlatego też ciasta żytnie uzyskują niższe wartości reologiczne, co przekłada się bezpośrednio na ich wypiekowość (objętość pieczywa). Jednakże, jak donoszą Neryng i in. (2001), temperatura w procesie przygotowania ciasta wpływa na jego właściwości reologiczne, co szczególnie dotyczy ciast z dużym dodatkiem mąki żytniej. Oznacza to, że ciasto ma przewagę właściwości lepkich (jest lepkie). Na właściwości pieczywa wpływa również skład mikrobiologiczny ciasta pszenżytniego. Według Güla i in. (2005) właściwości zakwasu piekarskiego decydują w głównej mierze o cechach reologicznych ciasta oraz teksturze otrzymanego pieczywa. Mikroflora zakwasu piekarskiego jest niezwykle skomplikowanym środowiskiem, w którym zachodzą oddziaływania pomiędzy wieloma szczepami bakterii kwasu mlekowego, np. *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* i *Pedicoccus*, a drożdżami, np. *Saccharomyces cerevisiae*, *Candidia Pichia* i *Hansenula*. Według Gobbettiego (1998) walory organoleptyczne pieczywa pszenżytniego kształtuje zakwas piekarski. W skład mikroflory wchodzi bakterie homo- i heterofermentatywne, co może być przyczyną różnic w ocenie aromatu pieczywa. Powyższe doniesienia wskazują na prawidłowy wybór dodatku szczepów oraz ich ilości. Średni czas rozwoju ciasta nie przekraczał 2 min. W miarę wzrostu zawartości startera w cieście czas rozwoju ciasta ulegał skróceniu. Przy 15-procentowym dodatku nie przekraczał 1 min dla wszystkich badanych przypadków oraz próbek kontrolnych. Dla próbek z 10-procentowym dodatkiem startera w mleku UHT nie powodował istotnych zmian w czasie rozwoju ciasta z mąki pozyskanej z ziarna z konwencjonalnego systemu uprawy. W przypadku mąk ekologicznych odnotowano trend spadkowy, jednakże ciasta z mąk z niektórych odmian wymagały 2-minutowego czasu rozwoju. Przyczyną tych zjawisk może być podwyższona odporność roślin z upraw ekologicznych na warunki środowiskowe. Jak donoszą Szeplińska i in. (2003), szkodniki (mszyce i skrzypionki) rzadko atakowały pszenicę uprawianą ekologicznie, natomiast w przypadku pszenicy konwencjonalnej zazwyczaj konieczne było chemiczne zwalczanie szkodników. Rośliny uprawiane ekologicznie, pomimo braku chemicznej ochrony, były mniej narażone na

choroby systemu korzeniowego i podstawy źdźbła niż rośliny z pozostałych obiektów, na których prowadzono chemiczne zwalczanie szkodników. Jak donoszą Nachtman i Żekało (2005), średnie plony pszenicy z hektara są niższe (31,5 dt/ha) dla upraw ekologicznych niż konwencjonalnych (42,8 dt/ha), jednak cena w obrocie jest porównywalna. Stałość ciasta mąk pszenżytnich była o 50% niższa w odniesieniu do mąki pszennej typu 500 już na etapie testów porównawczych pszenżytnich mąk kontrolnych. Iwański i in. (2006) traktowali enzymatycznie ciasto pszenne. Stwierdzili, że dodatek preparatów wybitnie amylolytycznych Amylopol P i Amylogal CS-15 istotnie (do 2 min) obniżał stałość ciasta w porównaniu z próbkami kontrolnymi (3 min, mąka pszenna). Z kolei dodatek preparatu proteolitycznego Pankreatyna nie spowodował zmian tej cechy. Według Kołakowskiego (2005) jakość i właściwości chleba zależą także od stanu białek. Mąka zawiera za mało enzymów proteolitycznych, aby przez odpowiedni dobór warunków miesienia i wypieku skutecznie wpływać na hydrolizę białek. Łagodna hydroliza białek skraca czas przechowywania pieczywa, zwiększa jego sprężystość i elastyczność, poprawia strukturę i objętość (Cyperowicz 1974). Dla mąk pszenżytnich kontrolnych nieistotny był również system uprawy oraz odmiana pszenżyta. Zastosowanie startera fermentacji mlekowej powodowało istotne obniżenie stałości ciast pszenżytnich przy 10- i 15-procentowym dodatku startera, co wykluczało taką ilość z dalszych badań. Jedynie 5-procentowy dodatek nie powodował statystycznie istotnego obniżenia stałości ciasta w odniesieniu do próbek kontrolnych i takie stężenie uznano za właściwe w dalszym postępowaniu. Nie odnotowano również istotnego wpływu samych systemów uprawy pszenżyta, chociaż wyniki wykazywały, że ciasto z mąki konwencjonalnej nieznacznie dłużej (1 min) utrzymywało stałość, co było wynikiem obiecującym. Rozmiękczenie ciast pszenżytnich istotnie zwiększało się przy 10- i 15-procentowym dodatku preparatów. Ekologiczny system upraw powodował nieistotny wzrost tego parametru (średnio o 10–15%). Zwiększenie rozmiękczenia ciasta, w połączeniu ze spadkiem jego elastyczności, jest najczęściej efektem oddziaływania enzymatycznego związanego ze zwiększeniem wilgotności ziarna, obserwowanym podczas wegetacji. Elastyczność ciasta spadała średnio o 10 jB w odniesieniu do próbek kontrolnych. Istotny spadek elastyczności zanotowano przy 10- i 15-procentowym dodatku preparatów starterowych. Elastyczność ciasta kształtuje jego przydatność w obróbce maszynowej, co bezpośrednio przekłada się na efekt ekonomiczny. W przypadku analizowanych ciast uzyskanych z mąk z dostępnych rodów pszenżyta 5-procentowy dodatek nie powodował istotnych zmian elastyczności ciasta. Problem prowadzenia ciast o wysokiej wydajności i ich adaptacji do produkcji maszynowej częściowo rozwiązuje proces obróbki ciast luźnych, o wydajności maksimum 172% (Iwański 2012).

Odpowiednio spreparowana dawka bakterii kwasu mlekowego w określonych warunkach może wywołać zmiany reologiczne, np. w cieście lub pieczywie (Iwański i in. 2012). Zmiany te są uzależnione od wielkości dawki mikroorganizmów, składu gatunkowego kultur bakterii, (np.: drożdży i bakterii kwasu mlekowego), gatunku oraz typu mąki użytej do produkcji pieczywa (pszenna, żytnia, pszenżytnia) oraz jakości samej mąki (mąki produkowane z ziarna porośniętego oraz z ziaren powyżej terminu przydatności produkcyjnej wykazują podobieństwo do próbek celowo traktowanych enzymatycznie). Na podstawie analizy wypieku kontrolnego stwierdzono, że pieczywo ekologiczne wykazało mniejszą stratę piecowa

w porównaniu z pieczywem wypiekanym z mąk konwencjonalnych. Przyczyną może być zwiększona ilość pentozanów rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych w wodzie. Substancje te, jak donosi Fik (2004), charakteryzują się dużą wodochłonnością i zdolnością do tworzenia roztworów wodnych o zwiększonej lepkości. Wyroby z surowców ekologicznych nie są standardowymi produktami przemysłu piekarskiego, dlatego też nie są ściśle określone warunki przemiału ziarna i cechy pozyskiwanych mąk. Stwarza to możliwość uzyskania wyrobów o innej charakterystyce niż pieczywo standardowe.

Wstępne badania wykazały, iż średnia wydajność ciasta pszenżytniego (151,1%) była nieznacznie wyższa od średniej wydajności ciasta pszennego (149,7%) oraz żytniego (149,2%). Analizując otrzymane dane, można stwierdzić, że dodatek preparatu Trilac powodował wyrównanie głównych parametrów ciasta w czasie obróbki, jak i podstawowych wyróżników oceny jakościowej pieczywa. Nastąpiło wyrównanie wilgotności w centralnej części miękiszu badanych próbek, która oscylowała w granicach 40%. Zastosowanie preparatu Trilac zwiększyło wilgotność pieczywa pszennego z mąki konwencjonalnej, a także pieczywa żytniego z surowca uprawianego konwencjonalnie i ekologicznie w porównaniu z wypiekiem bez dodatku starterów fermentacji mlekowej. Według Gil i in. (1997) wzrost dodatku wody nie wpływa na jakość pieczywa produkowanego z mąk standardowych, lecz chleb wzbogacony w gluten przy wyższej zawartości wody charakteryzuje się lepszą jakością i sprężystością.

Nie stwierdzono przy tym zróżnicowania porowatości według Dallmanna – większość wyników oscylowała w przedziale 60–100 punktów, co może świadczyć o małych porach miękiszu równomiernie w nim rozłożonych. Potwierdzeniem tego są zbliżone rezultaty analiz twardości pieczywa, wskazujące, że pieczywo żytnie było istotnie twardsze od pieczywa pszennego i pszenżytniego. Na trwałość omawianego parametru nieznacznie wpłynął gatunek surowca i system uprawy (ekologiczny, konwencjonalny). Występowanie różnic pomiędzy pieczywem żytnim a pozostałymi gatunkami jest rzeczą naturalną, wynikającą ze specyfiki kompleksu amylazowo-węglowodanowego oraz białkowego. Hosoney i Miller (1998) podają, że wzrost twardości podczas czerstwienia jest związany z powstawaniem wiązań krzyżowych pomiędzy napęczniałą skrobią i zdenaturowanym glutenem. Im bardziej napęczniałe są granulki skrobiowe, tym większa jest powierzchnia kontaktu i liczba tych wiązań. Na ogół są to stosunkowo słabe, lecz bardzo liczne wiązania wodorowe, łatwo ulegające rozrywaniu w podwyższonej temperaturze, np. przy odświeżaniu pieczywa. Badania mąki pszennej i żytniej bez dodatku starterów fermentacji mlekowej, otrzymanej z ziarna zbóż uprawianych konwencjonalnie i ekologicznie, dowiodły, że pieczywo z dodatkiem preparatu Trilac miało w porównaniu z próbkami kontrolnymi mniejszą objętość (o około 1%). Podobny wynik uzyskano dla preparatu Mezofile Aromatic Type B. W przypadku pieczywa pszennego, żytniego i pszenżytniego wypiekanego z dodatkiem preparatu Trilac zanotowano mniejszą objętość jedynie wyrobu z surowca ekologicznego. Według Ławrukajtis-Klimkowskiej i Ławrukajtisa (1999) zwiększenie objętości pieczywa żytniego może być wynikiem wpływu nieskrobiowej frakcji cukrów (pentozanów). Dla badanego pieczywa pszennego, żytniego i pszenżytniego z dodatkiem preparatu Trilac zaobserwowano podobne wartości straty piecowej i wypiekowej jak dla wypieku kontrolnego. Zbliżony efekt uzyskano dla dodatku preparatu Mezofile Aromatic Type B. W ocenie porowatości według Dallmanna pieczywo pszenne, pszenżytnie

i żytnie z dodatkiem preparatu Trilac, wypiekane z surowca uprawianego ekologicznie i konwencjonalnie, otrzymało najwięcej punktów w stosunku do pieczywa bez dodatku startera fermentacji mlekowej bądź pieczywa z dodatkiem preparatu Mezofile Aromatic Type B. Według Staszewskiej i Piesiewicza (2005b) pieczywo pszenne charakteryzuje się zdecydowanie wyższą porowatością niż żytnie. Na porowatość pieczywa żytniego wpływa proces fermentacji, w czasie którego jest wytwarzana większa ilość drobnych pęcherzyków CO<sub>2</sub> zatrzymanych w polisacharydowej strukturze ciasta.

Największą kwasowość, wyraźnie odbiegającą od kwasowości pieczywa kontrolnego (pszenne), cechowało się pieczywo żytnie z dodatkiem preparatu Trilac, wypiekane z mąki ekologicznej i konwencjonalnej. Tanaka i in. (1967) wykazali, że konsystencja ciasta oznaczana farinograficznie zwiększała się wraz z obniżeniem pH (dodatek kwasu octowego) przy nieobecności soli (chlorku sodu), a rozmiękczenie znacznie spadło w przypadku próbki z dodatkiem lub bez dodatku chlorku sodu. Najwyższy wskaźnik porowatości według Dallmanna wykazywało pieczywo żytnie ekologiczne z dodatkiem preparatu Mezofile Aromatic Type B, a najniższe pieczywo pszenne, żytnie i pszenżytnie bez dodatku starterów fermentacji LAB, otrzymane zarówno z surowca ekologicznego, jak i konwencjonalnego (dla których różnice były nieznaczne). Dodatek preparatu Trilac obniżał porowatość miękiszu pieczywa pszennego ekologicznego, natomiast dla pieczywa żytniego i pszenżytniego powodował wzrost. Elastyczność i spoistość wszystkich rodzajów pieczywa plasowała się na podobnym poziomie. Pieczywo żytnie osiągnęło najwyższą twardość.

Pieczywo pszenne, żytnie i pszenżytnie z dodatkiem Trilac, wytwarzane z mąki konwencjonalnej, charakteryzowało się większą twardością w porównaniu z wypiekiem kontrolnym i mniejszą wartością tej cechy w odniesieniu do pieczywa ekologicznego z dodatkiem preparatu Mezofile Aromatic Type B. Według Ceglińskiej i in. (2003) w przypadku stosowania metody jednofazowej najbardziej zmienia się twardość pieczywa żytniego. Zdaniem tych autorów przyczyną tego zjawiska jest odmienna struktura miękiszu. Badając cechy reologiczne pieczywa, takie jak: spoistość, przylepność, sprężystość i elastyczność, można stwierdzić niezmiennosc tych cech dla pieczywa z mąk pszenżytnich oraz oscylację wyników porównywalną z pieczywem pszennym. Sadkiewicz i Melkowski (2011) donoszą, że chleby pszenne razowe oraz chleby pszenne pełnoziarniste mają lekką skłonność do kruszenia się. Według Ambroziaka (1998) na elastyczność miękiszu pieczywa pozytywny wpływ mają substancje powierzchniowo czynne, przede wszystkim emulgatory i hydrokoloidy. W trakcie miesienia tworzą one silne połączenia z białkami i wzmacniają strukturę ciasta, a podczas wypieku łączą się w kompleksy ze skrobią, wpływając istotnie na elastyczność miękiszu pieczywa. Największą zżuwalność wykazywało pieczywo pszenne i żytnie z dodatkiem preparatu Trilac, wypiekane z surowców pozyskanych ze zbóż uprawianych konwencjonalnie, najmniejszą zaś pieczywo ekologiczne z dodatkiem preparatu Trilac. Test przylepności dowiódł, że dodatek startera fermentacji może poważnie zakłócić obróbkę mechaniczną ciasta, wręcz ją uniemożliwiając. Sadkiewicz i Melkowski (2011) uważają, że środkiem zaradczym na wilgotny, mało elastyczny miękisz chlebów żytnich mieszanych, żytnich i żytnich razowych może być odpowiednio duży udział kwasu, a lepkość takiego pieczywa można również ograniczyć, stosując odpowiednio długi czas wypieku. Rezultaty badań fizykochemicznych znajdują odzwiercie-



dlenie w ocenie sensorycznej wyrobów. Pieczywo pszenne kwalifikowano do różnych klas, począwszy od I i II (uprawa konwencjonalna lub ekologiczna) do klasy II i IV (pieczywa żytnie), przy czym przynależność do klasy nie zależała od pochodzenia mąki. W przypadku pieczywa pszenżytniego również nie stwierdzono wyraźnej zależności pomiędzy metodą uprawy zbóż a oceną sensoryczną (skala ocen I–IV). Zwiększenie elastyczności mięksiszu (test TPA) może być skorelowane z przylepnością. Przyczyna tego zjawiska może być związana z aktywnością enzymów własnych lub dodanych w procesie produkcji. Yaseen i in. (2001) dodawali enzym i pektyny jabłkowe do ciasta chlebowego z mąki pszennej. Powodowało to zwiększenie objętości, jak również zmniejszenie twardości i gumowatości przy podwyższonej elastyczności, kohezji i relaksacji mięksiszu. Najmniejszą przylepnością charakteryzowało się pieczywo pszenne z dodatkiem preparatu Trilac, z surowca wyprodukowanego konwencjonalnie, większą zaś pieczywo pszenne ekologiczne bez dodatku starterów fermentacji mlekowej. Jeśli chodzi o pieczywo żytnie, najmniejszą przylepnością cechowało się pieczywo ekologiczne bez dodatku starterów, największą zaś pieczywo ekologiczne z dodatkiem preparatu Mezofile Aromatic Type B. Pieczywo pszenżytnie konwencjonalne i ekologiczne z dodatkiem preparatu Trilac wykazywało niższą przylepność niż pieczywo pszenżytnie konwencjonalne i ekologiczne bez dodatku starterów. Cechowało się również większą przylepnością niż pieczywo konwencjonalne z dodatkiem preparatu Mezofile Aromatic Type B.

Wielu autorów opisuje fermentację mlekową jako czynnik polepszający zarówno walory zdrowotne, jak i trwałość produktów spożywczych (Breidt i in. 1997). Dodatkowy efekt przedłużenia trwałości można uzyskać dzięki zastosowaniu obniżonych temperatur (Bárceñas i Rosell 2006, Lainez i in. 2008, Mandala i in. 2008). Niektórzy badacze stosowali temperatury ujemne zarówno w produkcji półfabrykatów piekarskich, jak i do modyfikacji gotowych wyrobów, wykorzystując hydrokoloidy czy hydroksypropylometylocelulozę (Bárceñas i Rosell 2005, 2007, Mandala i in. 2008) oraz różne metody wypieku, m.in.: ogrzewanie mikrofalowe (Megahey i in. 2005), optymalizację procesu prowadzenia ciasta żytniego (Katina i in. 2006) czy różne techniki przygotowania ciasta (Curic i in. 2008). Jak podkreśla Fik (2004), czerstwienie pieczywa jest konsekwencją złożonego procesu kompleksowych przemian fizykochemicznych wielu jego składników (w tym przede wszystkim skrobi, białek, tłuszczów i wody), jak ich wzajemnych interakcji. Dlatego całkowite powstrzymanie zjawiska starzenia się wyrobów piekarskich jest praktycznie nieosiągalne. Najskuteczniejszym, chociaż związanym z pewnymi kosztami, sposobem zachowania świeżości i zwiększenia trwałości przechowywania chleba jest jego zamrażanie lub składowanie w modyfikowanej atmosferze. Chleb szybko zamrożony do temperatury około  $-20^{\circ}\text{C}$  i dobrze opakowany może w stanie zamrożonym zachować świeżość konsumpcyjną przez praktycznie nieograniczony czas.

Także zastosowanie bakterii kwasu mlekowego do poprawy jakości pieczywa jest rzeczą znaną i powszechnie stosowaną. Wykorzystuje się np. zakwas piekarski jako podstawowy komponent do produkcji chleba. W ujęciu mikrobiologicznym bakterie LAB mają zadanie konserwujące, technologicznym – stwarzają optymalne środowisko do wytworzenia struktury ciasta, a w aspekcie sensorycznym kształtują smak oraz aromat (Poinot i in. 2008). Metoda ta jest obecnie stosowana w skali przemysłowej. Procedura zakwaszania części mąki lub prowadzenie podmłody w przypadku chleba pszennego stanowi bardzo istotny warunek przedłużenia jego świeżości.

Świeżość pieczywa przedłuża również zimne napęcznienie lub zaparzenie części mąki, dłuższy czas fermentacji wstępnej i spoczynku ciasta oraz zabiegi mechaniczne, takie jak zaokrąglanie lub wydłużanie kęsów ciasta (Sadkiewicz i Melkowski 2011). Według Fika i Surówki (2002) w zamrażalnictwie pieczywa szczególnie popularna staje się metoda oparta na częściowym wypieku, zamrażaniu oraz zamrażalniczym przechowywaniu produktu i następnie jego dopieczeniu po uprzednim rozmrożeniu. Badania wykazały, że optymalny czas częściowego podpiekania chleba przed zamrożeniem wynosi 74–86% czasu koniecznego do jego pełnego wypieku. Jednocześnie stwierdzono, że produkt mrożony o takim stopniu podpieczenia charakteryzuje się dużą stabilnością cech sensorycznych i tekstury podczas 11-tygodniowego składowania zamrażalniczego i po rozmrożeniu oraz całkowitym dopieczeniu przewyższa pod względem jakości swój mrożony odpowiednik o pełnym wypieku. Innym sposobem jest dodanie do ciasta sera żółtego (1–5%), co powoduje istotne obniżenie podstawowych wyróżników testu TPA po miesięcznym przechowywaniu w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$  (Szczepanik i in. 2010). Mrożenie oraz fermentacja mlekowa ciasta żytniego utrwalają wyroby piekarskie (Lainez i in. 2008), jednakże wpływ konkretnego lub kilku ściśle określonych szczepów drobnoustrojów, łącznie z obniżeniem temperatury, na twardość jest w mniejszym stopniu analizowany przez badaczy. Spotyka się pozycje literaturowe, w których przedmiotem analizy jest jeden konkretny szczep (Bárcenas i Rosell 2005). Można stwierdzić, że proces starzenia pieczywa w głównej mierze jest spowodowany retrogradacją skrobi. Inni autorzy donoszą, że twardość miękiszu jest związana z rekrystalizacją rozgałęzionej amylopektyny (Pyler 1988, Rogers i in. 1988), ale niektórzy badacze (Ghiasi i in. 1984) nie zgadzają się z tym, aby uważać te procesy za jednoznaczne. Retrogradacja przebiega w sposób przewidywalny, tzn. prowadzi do istotnego wzrostu twardości pieczywa podczas przechowywania w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$  i utrzymania niezmienniej (nieistotnej) twardości po przechowywaniu w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$ . Jednakże poziom twardości jest uzależniony od typu pieczywa. Podobne rezultaty otrzymał Iwański i in. (2008) dla pieczywa standardowego. W przypadku pieczywa pszennego najmniejszą twardość wykazywały próbki kontrolne, jak i modyfikowane kulturami LAB. W odniesieniu do innych gatunków pieczywa najtwardszą strukturą charakteryzowało się pieczywo żytnie, jednak dłużej pozostawało świeże w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$  w porównaniu z pieczywem pszennym. Zjawisko to jest spowodowane gorszymi cechami wypiekowymi mąki żytniej, co znajduje odzwierciedlenie w porowatości. Zgodnie z przewidywaniami w przypadku pieczywa pszenżytniego osiągnięto wyniki pośrednie, wynikające z faktu, że pszenżyto jest genetyczną krzyżówką pszenicy i żyta. Ekologiczny system uprawy powodował nieistotne obniżenie twardości w porównaniu z konwencjonalnym, jednakże tylko w niektórych przypadkach.

Zmiany barwy w szczególności dotyczą pieczywa pszennego. Jak podkreślają Angioloni i Collar (2011), ma to szczególne znaczenie w przypadku stosowania dodatków. Gill i in. (2002) stosowali niskoamylozowy jęczmień woskowany w procesie ekstruzji jako zamiennik mąki pszennej. Przy 15-procentowym dodatku osiągnęli wysoce akceptowalną barwę. Od barwy zależy decyzja konsumenta o wyborze konkretnego produktu. Kolor pieczywa przeważnie jest określany jako żółto-złoty, jednak może się zmieniać w zależności od temperatury i sposobu wypieku oraz zastosowanych dodatków (Purlis i Salvadori 2007). Jak wskazują

Therdthai i in. (2002), barwa pieczywa ma związek z technologią wypieku, a Keskin i in. (2004) dodają, że kolor pieczywa jest zmienny i zależy od składu surowcowego i sposobu wypieku. Abdellatif i in. (2010) sądzą, że jakakolwiek ingerencja w skład miękiszu pieczywa powoduje zmianę barwy na ciemniejszą, a największe zmiany dotyczą czerwoności i żółtości pieczywa. Tezę tę potwierdzają badania Cauvaina i Chamberlaina (1988), w których traktowali oni ciasto pszenne  $\alpha$ -amylazą. Według Fennemy (2000) za proces ten są odpowiedzialne reakcje zachodzące podczas wypieku, szczególnie karmelizacja oraz reakcje Maillarda. Obie reakcje są nieenzymatyczne oraz nie są reakcjami utleniania. Bezpośrednie ogrzewanie węglowodanów powoduje kompleksowe reakcje zwane karmelizacją. W przypadku reakcji Maillarda minimalne wymagania co do substratów to obecność związków aminowych, zwykle białek, cukrów redukujących oraz wody. Na reakcje Maillarda mają wpływ temperatura, pH, wilgotność oraz obecność kationów metali i obcych struktur cukrowych. Zwykle reakcje te są przyspieszane przez ogrzewanie (Fennema 2000). Sharadanant i Khan (2003) odnotowali, że chleb wyprodukowany z dodatkiem hydrofilowych gum spożywczych miał ciemniejszą powierzchnię po długim przechowywaniu zamrażalniczym ciasta. Giannou i Tzia (2007) donoszą, że największe zmiany jakości pieczywa zachodzą w pierwszym miesiącu przechowywania. Przyczyną tych zjawisk może być wpływ działalności mikroflory, szczególnie drożdży piekarskich (Yia i Kerrb 2009). Przybylska i in. (2009b) badali ważną kwestię wpływu napowietrzania surowca oraz temperatury sterylizacji na zmiany barwy przecieru pomidorowego. Wykazali, że napowietrzanie przecieru wpływa degradacyjnie na barwę oraz stabilność likopenu we wszystkich analizowanych wariantach. W przypadku próbek napowietrzonych wzrost czasu i temperatury sterylizacji powodują spadek jasności i czerwoności barwy średnio o około 60%, a parametru  $b^*$  (żółtość) o 51% w stosunku do nienapowietrzonych próbek kontrolnych (nieogrzewanych). Napowietrzanie i działanie wysokich temperatur występują również w piekarnictwie. Przybylska i in. (2009a) poruszają kwestię wpływu podstawowych dodatków do żywności, takich jak cukier czy sól, stosowanych również w piekarnictwie. Badania wykazały, że wraz ze wzrostem czasu i temperatury ogrzewania przecierów marchwiowych, niezależnie od zastosowanego dodatku, następował spadek jasności  $L^*$  oraz wartości parametru  $a^*$ , natomiast zwiększały się wartości parametru  $b^*$ . Dodatek cukru powodował lepszy efekt ochronny dotyczący barwy, stabilności  $\beta$ -karotenu oraz smaku i zapachu przecierów marchwiowych przed sterylizacją i po sterylizacji niż dodatek soli kuchennej. Dłuższe czasy sterylizacji (60–90 min) istotnie wpływały na zmiany parametrów barwy ( $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ ), zawartość  $\beta$ -karotenu oraz cechy sensoryczne wyrobu (smak i zapach).

Choroby cywilizacyjne stają się coraz bardziej niepokojące. Nazywane inaczej schorzeniami XXI wieku stanowią duże zagrożenie dla całej populacji ludzkiej. Istotną rolę w ich powstawaniu odgrywa tlen, który – jak się okazuje – ma dwa oblicza. Z jednej strony jest niezbędny do życia organizmu, z drugiej zaś formy reaktywne tego pierwiastka stanowią bezpośrednią przyczynę niepożądanych reakcji łańcuchowych. Jedyną alternatywą jest zniszczenie czynników chorobotwórczych. Zdolne są do tego antyoksydanty, czyli związki o właściwościach przeciwutleniających, które neutralizują wolne rodniki. Okazuje się, że pieczywo, niezastąpiony artykuł spożywczy diety każdego człowieka, również stanowi źródło tych związków. Chociaż jest spożywane od dawna, to nie do końca zdajemy sobie sprawę ze zwią-

zanych z tym korzyści. Oprócz walorów smakowych i wartości odżywczej jest również jednym z czynników chroniących organizm ludzki przed chorobami. W produktach zbożowych dominującą grupę przeciwutleniaczy stanowią polifenole. Ponadto stwierdzono również obecność wielu innych związków o niezastąpionych właściwościach antyoksydacyjnych, jak np. niektóre witaminy, karotenoidy czy też melanoïdy powstałe w wyniku reakcji Maillarda. Pieczywo otrzymane z orkiszu, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, wykazuje większą zdolność redukcji wolnych rodników (Lacko-Bartošová 2010). Dzięki takim walorom regularne spożywanie chleba z orkiszu pozwala m.in. na obniżenie poziomu cholesterolu we krwi oraz ogólną regenerację organizmu (Christa 2010). Zjawiskiem niepożądanym podczas przetworstwa jest utrata części antyoksydantów, np. polifenoli. W związku z tym pieczywo coraz częściej jest wzbogacane w substancje prozdrowotne i staje się w ten sposób żywnością funkcjonalną. Taka praktyka pozwala na znaczne podniesienie zawartości przeciwutleniaczy w gotowym produkcie, a tym samym na zwiększenie jego potencjału antyoksydacyjnego.

Z badań opisanych w niniejszej pracy wynika, że aktywność przeciwutleniająca AA (%) miększu pieczywa była znacznie niższa niż skórki. Tendencja ta utrzymywała się niezależnie od rodzaju pieczywa czy też rodzaju preparatu kultur bakterii mlekowych użytego do produkcji. Może to wynikać z faktu, że skórka zawiera więcej polifenoli, co potwierdzają badania Michalskiej i in. (2008), ponadto oddziaływanie wysokiej temperatury na chleb podczas procesu produkcyjnego sprzyja powstawaniu związków Maillarda, które wykazują właściwości przeciwutleniające (Morales i Jimenez-Perez 2001, Morales 2009). Miększ charakteryzował się potencjałem oksydacyjnym zbliżonym do mąki, z której powstał chleb.

Analizując wyniki, można stwierdzić, że potencjał oksydoredukcyjny pieczywa w dużej mierze jest uzależniony od gatunku mąki stosowanej do jego wypieku, stopnia jej przemiału czy też ilości związków powstających podczas fermentacji i wypieku. Mąka charakteryzuje się niższym potencjałem oksydoredukcyjnym niż ziarno, przy czym straty polifenoli są tym większe, im większy jest stopień oczyszczenia ziarna (Heiniö i in. 2008). Dlatego pieczywo wyprodukowane z mąki pszennej wykazuje znacznie niższą aktywność przeciwutleniającą niż pieczywo z mąki żytniej czy pszenżytniej. Ponadto mąka żytnia i mąka pszenżytnia charakteryzowały się wyższym wyciągiem i zawierały więcej substancji wykazujących działanie przeciwutleniające, których źródłem jest okrywa nasienna zboża. Michalska i in. (2007a) potwierdzili tę zależność – w ich badaniach aktywność przeciwutleniająca TEAC chleba żytniego z mąki pełnoziarnistej była o 60% wyższa niż chleba z mąki o wyciągu 70%. Natomiast chleb pszenny charakteryzował się aktywnością przeciwutleniającą o 50% niższą niż chleb żytni z jasnej mąki. Podobnie kształtowały się różnice w aktywności przeciwutleniającej oznaczonej metodą DPPH (75% najwyższych wyników dotyczyło chleba otrzymanego na bazie mąk z surowców ekologicznych). Zbliżona sytuacja wystąpiła podczas analizy polifenoli – przeszło 57% próbek pochodziło z uprawy ekologicznej. Warunki ekologiczne sprzyjają najwyraźniej powstawaniu tych związków. Podobne wnioski wyciągnęli Hallmann i Rembiałowska (2006) podczas badań nad wpływem zastosowanej uprawy zbóż na zawartość m.in. związków fenolowych. Przy praktykowaniu metod ekologicznych uzyskano wyniki wyższe średnio o 11%.

Eksperyment opisany w niniejszej pracy wykazał, że zastosowanie preparatów probiotycznych wpływało na aktywność przeciwutleniającą AA (%). Badane preparaty kultur bakte-

rii fermentacji mlekowej różniły się zastosowanymi szczepami, a co za tym idzie – produktami hydrolizy (m.in. białek), co mogło wpływać na aktywność przeciwutleniającą chleba. Zastosowanie preparatu Trilac w większości przypadków nie powodowało znaczącego wzrostu aktywności przeciwutleniającej AA (%), wyjątek stanowiło pieczywo pszenżytnie (niezależnie od stosowanego stężenia dodatku). W przypadku pieczywa pszennego i żytniego można zauważyć obniżenie TEAC pieczywa kontrolnego. Taka sytuacja może wynikać z faktu, iż preparat Trilac charakteryzował się podobnym składem mikroflory, co pozostałe dodatki, jednak jako jedyny w swoim składzie zawierał *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*. Hammes i Vogel (1995) uważają, że jest to gatunek występujący w trzech podgatunkach: *L. delbrueckii subsp. delbrueckii*, *L. delbrueckii subsp. lactis* i *L. delbrueckii subsp. Bulgaricus*, które wykazują duże zdolności fermentacji cukru do kwasu mlekowego w warunkach beztlenowych, dlatego najczęściej są stosowane w przemyśle mleczarskim do produkcji jogurtów, sera, napojów mlecznych fermentowanych (Lapierre i in. 2003). W związku z tym wykorzystanie preparatu Trilac mogło powodować powstanie produktów hydrolizy, które przyczyniły się do obniżenia potencjału oksydoredukcyjnego pieczywa pszennego i żytniego. Preparaty Lacidozone i Mezofile Aromatic Type B charakteryzowały się zbliżonym składem szczepów bakterii kwasu mlekowego, więc powinny wykazywać podobne oddziaływanie na aktywność przeciwutleniającą pieczywa. Jednak preparat Mezofile Aromatic Type B wpłynął na uzyskanie lepszych efektów niż Lacidozone w przypadku analizy metodą ABTS. Większość preparatów wykazywała zbliżone działanie, które zmieniało się zależnie od stężenia dodatku. Metoda z wykorzystaniem DPPH pozwala określić zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH<sup>\*</sup>, co wskazuje na działanie przeciwutleniające głównie peptydów i aminokwasów oraz związków Maillarda powstających podczas wypieku (Wołosiak i Worobiej 2005, Zieliński i in. 2008). Metoda oparta na wykorzystaniu odczynnika ABTS umożliwia określenie całkowitej aktywności przeciwutleniającej czystych próbek substancji, jak i całkowitej zdolności przeciwutleniającej próbek żywności czy płynów ustrojowych. Wartość TEAC wynika głównie ze zdolności wiązania polifenoli, tokoferoli, tokotrienoli i heksafosforanów inozytolu (Zieliński i in. 2008). Zawartość przeciwutleniaczy w analizowanych próbkach jest wyrażana jako liczba równoważników troloksu na jednostkę masy próbki (TEAC) – Kusznierecz i in. (2006). Można zauważyć, że rodzaj stosowanej metody badania aktywności przeciwutleniającej ma znaczący wpływ na otrzymane wartości, które zależą od tego, jakie związki zostają wychwytywane za pomocą jakiego odczynnika, a na mechanizm wychwytywania będą wpływały takie czynniki jak rozpuszczalność przeciwutleniacza i proporcja stosowanych rozpuszczalników. Biorąc pod uwagę te wszystkie czynniki, można stwierdzić, że choć obydwie metody należą do metod opartych na przeniesieniu pojedynczego elektronu (SET), to jednak dają różne wyniki, których interpretacja powinna odbywać się indywidualnie dla stosowanej metody (Brand-Williams i in. 1995). Dlatego analizując badane próbki, należy osobno uwzględniać metody wykorzystujące odczynnik ABTS i DPPH, ponieważ zarówno jedną, jak i drugą metodą są wykrywane inne związki o właściwościach przeciwutleniających, powstające w chlebie po dodaniu preparatów probiotycznych.

Z analizy wartości aktywności przeciwutleniającej miękiszu pieczywa pszennego otrzymanych metodą ABTS wynika, że największą aktywność uzyskano po zastosowaniu

preparatów Lacidozone i Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 10%, co można uzasadnić wyższą zawartością polifenoli w tych próbkach (Michalska i in. 2007b). Działanie szczepów bakterii podczas procesu fermentacyjnego przyczynia się do wytworzenia większej ilości kwasu mlekowego i innych kwasów organicznych, a także substancji podobnych do bakteriocyn, antybiotyków, nadtlenku wodoru oraz innych związków, które działają antagonistycznie na większość bakterii chorobotwórczych (Fuller 1991), a także związków wykazujących działanie przeciwutleniające. Na przykład *Bifidobakterium* jest zdolne do wytworzenia pochodnych kwasu foliowego (Guarner i Schaafsma 1998). Odwołując się do wyników uzyskanych za pomocą metody z wykorzystaniem odczynnika DPPH, można zauważyć, że najlepsze właściwości wykazał preparat Lacidozone w stężeniu 15% i Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 5%. W przypadku preparatu Lacidozone wynikać to mogło z większej kwasowości miększu, a co za tym idzie, podwyższonej ilości kwasów i innych związków o działaniu przeciwutleniającym (Strus i Heczko 2007). Zastosowanie preparatu Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 5% nie powodowało znaczących zmian kwasowości, a jednak wpłynęło na zwiększenie zdolności wiązania wolnych rodników DPPH, co świadczy o tym, że nie zawsze obniżenie kwasowości pociąga za sobą automatyczny wzrost aktywności przeciwutleniającej. Można przypuszczać, że skład preparatu Mezofile Aromatic Type B sprzyjał powstawaniu związków o właściwościach przeciwutleniających (Sękowska 1999).

Analizując aktywność przeciwutleniającą skórki pieczywa pszennego, można stwierdzić, że najkorzystniej działały preparaty Lacidozone oraz Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 15%, gdyż pieczywo z ich udziałem osiągnęło najwyższą aktywność przeciwutleniającą TEAC, choć zawartość polifenoli była znacznie niższa niż w przypadku zastosowania tych preparatów w innym stężeniu. Można przypuszczać, że na aktywność przeciwutleniającą skórki pieczywa wpływ miała kondensacja polifenoli oraz zmiana ich konformacji. Według Pratta i Hadsona (1990) najkorzystniejsza jest obecność w pierścieniu B dwóch grup hydroksylowych w pozycji orto. Dlatego istnieje prawdopodobieństwo, że preparaty Lacidozone i Mezofile Aromatic Type B przyczyniły się do powstania tych właśnie polifenoli. W przypadku wykorzystania metody z odczynnikiem DPPH najlepsze wyniki odnotowano dla skórki z dodatkiem Lacidozone i Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 5%. Można przypuszczać, że za uzyskanie takich rezultatów odpowiedzialne były związki powstałe w wyniku nieenzymatycznego brunatnienia. Istnieje zależność między stopniem pociemnienia produktu a ilością powstających związków o właściwościach przeciwutleniających (Ashoor i Zent 1984). Jak donoszą Manzocco i in. (2001), za barwę produktu, a w sumie jego pociemnienie, są odpowiedzialne melanoidyny, które wykazują właściwości przeciwutleniające. Można więc przypuszczać, że wyższa aktywność przeciwutleniająca skórki pieczywa z dodatkiem preparatów Lacidozone i Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 5% jest wynikiem powstania większej ilości melanoidyn, ponieważ pomiar barwy (żółtości i czerwoności) utrzymywał się na wyższym poziomie niż w przypadku skórki pieczywa otrzymanego z zastosowaniem tych preparatów, ale w innych stężeniach.

Z analizy wpływu dodatków probiotycznych na aktywność przeciwutleniającą pieczywa żytniego wynika, że tylko preparat Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 5% wykazał korzystne działanie, w skórcie zaś żaden z preparatów nie spowodował takich zmian

w stosunku do próbek kontrolnych. Zwiększenie aktywności przeciwutleniającej wobec kationorodnika ABTS<sup>•+</sup> można tłumaczyć powstaniem polifenoli o wyższych właściwościach przeciwutleniających (tak jak w skórce pieczywa pszennego). Choć ich ilość była najmniejsza niż w pozostałych wariantach, to jednak wartość TEAC rosła. Na wyższą aktywność przeciwutleniającą skórki mają tutaj przede wszystkim wpływ produkty reakcji Maillarda. Można zauważyć, że większa ilość polifenoli nie zawsze będzie opowiadała większej aktywności przeciwutleniającej. Taka sytuacja zdarzyła się po zastosowaniu preparatu Mezofile Aromatic Type B w stężeniu 10% (najwyższa zawartość polifenoli nie przełożyła się na wzrost aktywności przeciwutleniającej), odwrotna zaś sytuacja wystąpiła przy 5-procentowym stężeniu tego preparatu. Dlatego ważne jest, jak dany preparat wpływa na stopień hydroksylacji polifenoli, gdyż hydroksylacja pierścienia B jest głównym czynnikiem wpływającym na aktywność przeciwutleniającą polifenoli (Pratt i Hadson 1990).

W przypadku produkcji pieczywa pszenżytniego zastosowanie preparatów probiotycznych nie powodowało znaczącego wzrostu aktywności przeciwutleniającej. Jedynie zastosowanie preparatu Mezofile Aromatic Type B, niezależnie od jego stężenia, powodowało jej lekką poprawę. Jak wykazały badania Michalika (2009), pieczywo z mąki pszenżytniej wykazuje wyższą aktywność przeciwutleniającą niż pieczywo z mąki pszennej czy żytniej. Przypuszcza się, że ma to związek z wysokim wyciągiem użytej mąki, a co za tym idzie, większą ilością substancji o charakterze przeciwutleniającym, zawartych w zewnętrznych partiach ziarna. Pieczywo pszenżytnie modyfikowane preparatem Mezofile Aromatic Type B uzyskało wyższą aktywność przeciwutleniającą TEAC niż próbka bez tego dodatku. Taka sytuacja może wynikać z faktu, że preparat Mezofile Aromatic Type B charakteryzuje się dość wysokim potencjałem oksydoredukcyjnym w stosunku do pozostałych dodatków. Można przypuszczać, że na zwiększenie właściwości oksydoredukcyjnych preparatu Mezofile Aromatic Type B wpływa zawartość oligosacharydów. Borrelli i in. (2003) przypuszczają, że oligosacharydy, w połączeniu z białkami, pod wpływem działania wyższej temperatury mogą tworzyć związki o charakterze przeciwutleniaczy powstające w wyniku reakcji Maillarda.

## 6. Wnioski

1. Do produkcji pieczywa są przydatne tylko odmiany pszenżyta o wysokiej liczbie opadania, pozwalające na wytworzenie ciasta o dobrych cechach farinograficznych. Spośród badanych odmian jedynie Moderato spełniała te wymagania.

2. Użycie preparatu Trilac powodowało wyrównanie porowatości, a także polepszenie smaku i aromatu pieczywa pszenżytniego produkowanego z mąki zarówno konwencjonalnej, jak i ekologicznej.

3. Dodatek preparatu Mezofile Typ B powodował zmniejszenie straty piecowej oraz straty wypiekowej całkowitej we wszystkich badanych przypadkach (szczególnie dotyczy to pieczywa pszenżytniego oraz żytniego). Modyfikacja starterem Mezofile Aromatic Typ B skutkowałą podwyższeniem twardości pieczywa, ale także bardziej równomiernym rozkładem porowatości według Dallmanna.

4. Mrożenie ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) gotowego pieczywa nie wpływało istotnie na jego twardość po okresie przechowywania niezależnie od systemu uprawy zbóż.

5. Pieczywo pszenżytnie charakteryzowało się najniższą jasnością i żółtością miękiszu oraz najwyższą czerwonością miękiszu i skórki. Jasność miękiszu pieczywa pszenżytniego zmniejszała się pod wpływem dodatków probiotycznych w stężeniu do 10%.

6. Ekologiczny system uprawy zboża wpływał korzystnie na barwę pieczywa pszenżytniego bez dodatku startera fermentacji. Standardowy, 5-procentowy dodatek startera powodował istotne zmniejszenie jasności. Analogiczną sytuację stwierdzono w przypadku czerwoności pieczywa bez dodatku startera fermentacji mlekowej.

7. Niezależnie od stosowanego preparatu i rodzaju pieczywa skórka charakteryzowała się wyższą aktywnością przeciwutleniającą niż miękisz.

8. Preparat Mesophile Aromatic Type B zwiększał aktywność przeciwutleniającą pieczywa pszenżytniego niezależnie od stężenia dodatku, żytniego – przy 5-procentowym stężeniu, pszennego przy stężeniu 5- i 10-procentowym).





## Piśmiennictwo

- ABDELLATIF M., XU J., SINGH M. 2010. Yeast leavened banana-bread: Formulation, processing, colour and texture analysis. *Food Chem.* 118(3): 620–626.
- ADOM K.K., SORRELLS M.E., LIU R.H. 2003. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *J. Agric. Food Chem.* 51: 7825–7834.
- AMAROWICZ R., KARRAMAC M., WEIDNER S., ABE S., SHAHIDI F. 2002. Antioxidant activity of wheat caryopses and embryos extracts. *J. Food Lipids* 9: 201–210.
- AMAYA A., PEÑA R.J. 1991. Trticale industrial quality improvement at CIMMYT: past, present and future, [in:] *Proceedings of the second international triticales symposium CIMMYT*. Mexico, [b.w.]: 412–421.
- AMBROZIAK Z. 1998. *Produkcja piekarsko-ciastkarska*. Cz. 1. Warszawa, WSiP: 38–65.
- ANDREASEN M.F., CHRISTENSEN L.P., HANSEN A., MEYER A.S. 2000. Content of phenolic acids and ferulic acid dehydrodimers in 17 rye (*Secale cereale* L.) varieties. *J. Agric. Food Chem.* 48: 2837–2842.
- ANGIOLONI A., COLLAR C. 2011. Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *LWT – Food Sci. Technol.* 44(3): 747–758.
- ASHOOR S.H., ZENT J.B. 1984. Maillard browning of common amino acids and sugars. *J. Food Sci.* 49: 1206–1207.
- BALL S. 2001. *Antyoksydanty w medycynie i zdrowiu człowieka*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Medyk.
- BÁRCENAS M.E., ROSELL C.M. 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids* 19: 1037–1043.
- BÁRCENAS M.E., ROSELL C.M. 2006. Effect of frozen storage time on the bread crumb and aging of par-baked bread. *Food Chem.* 95: 438–445.
- BÁRCENAS M.E., ROSELL C.M. 2007. Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. *Food Chem.* 100: 1594–1601.
- BARTOSZ G. 1995. *Druga twarz tlenu*. Warszawa, PWN.
- BEAUX Y., MARTIN G. 1985. Breadmaking aptitude in hexaploid triticales, Genetics and breeding in triticales, [in:] *Proceedings of the Eucarpia meeting INRA*. Eds M. Bernard, S. Bernard. Paris, [b.w.]: 651–655.
- BENDER D.A. 2006. *Benders Dictionary of Nutrition and Food Technology*. Massachusetts, Abington Woodhead Publishing: 480.
- BETA T., NAM S., DEXTER J.E., SAPIRSTEIN H.D. 2005. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal Chem.* 82: 390–393.
- BIELECKA H. 2002. Żywność probiotyczna. *Pediatrics Współczesna. Gastroenterologia, Hepatologia i Żywność Człowieka* 4(1): 27–32.
- BŁASZCZYK U. 2008. Bakteriocyny – właściwości i zastosowanie. *Laboratorium* 10: 28–38.
- BORRELLI R.C., MENNELLA C., BARBA F., RUSSO M., RUSSO G.L., KROME K., ERBERSDOBLER H.F., FAIST V., FOGLIANO V. 2003. Characterization of compounds obtained by enzymatic extraction of bakery products. *Food Chem. Toxicol.* 41: 1367–1374.
- BOURNE C.M. 1982. Principles of Objective Texture Measurement. *Food Texture and Viscosity* 3: 48–49.
- BRAND-WILLIAMS W., CUVELIER M.E., BERSET C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 28: 25–30.
- BREIDT F., FLEMING H. 1997. Using Lactic Bacteria to Improve the Safety of Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Food Technol.* 51(9): 44–46, 48, 51.

- BURANOV A.U., MAZZA G. 2008. Lignin in straw of herbaceous crops. *Ind. Crops Products* 28: 237–259.
- CAUVAIN S.P., CHAMBERLAIN N. 1988. The bread improving effect of fungal  $\alpha$ -amylase. *J. Cereal Sci.* 8(3): 239–248.
- CEGLIŃSKA A., CACAK-PIETRZAK G., HABER T. 2003. Porównanie jakości pieczywa pszenżytniego, pszennego i żytniego. *Prz. Piek. Cukier.* 11: 4–5.
- CHRISTA K. 2010. Orkisz – cudowne ziarno. *Prz. Zboż.-Młyn.* 2: 11.
- CICHY W., GAŁĘCKA M., SZACHTA P. 2010. Probiotics as an alternative and support of traditional therapies. *Twoje Zdrowie* 6.
- COBORU. 2008. *Lista opisowa odmian*. Słupia Wielka.
- COOK N.C., SAMMAN S. 1996. Flavonoids – Chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *Nutr. Biochem.* 7: 66–76.
- CROWLEY P., SCHOBERT T.J., CLARKE C., ARENDT E. 2002. The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread. *Eur. Food Res. Technol.* 214: 489–496.
- CURIC D., NOVOTNI D., SKEVIN D., ROSELL C.M., COLLAR C., BAIL A. LE, COLIC-BARIC I., GABRIC D. 2008. Design of a quality index for the objective evaluation of bread quality: Application to wheat breads using selected bake off technology for bread making. *Food Res. Int.* 41: 714–719.
- CYPEROWICZ A.S. 1974. *Enzymy, podstawy chemii i technologii*. Warszawa, WNT.
- CZARNECKI Z., MICHNIEWICZ J. 2000. Konsumpcyjne i przemysłowe wykorzystanie ziarna żyta, [w]: *Krajowa Konferencja Naukowa*, 19–20.10.2000. Puławy, IUNG.
- DĄBROWSKI J. 2008. *Źródła i przyczyny powstawania wolnych rodników*. Wrocław, EIOBA.
- DIOWKSZ A. 2003. Zakwas piekarski jako złożony układ biologiczny. *Prz. Piek. Cukier.* 9: 16.
- DIOWKSZ A. 2004. Biokonserwacja pieczywa dzięki zastosowaniu zakwasu. *Prz. Piek. Cukier.* 4: 6–8.
- DIOWKSZ A. 2005. Rola kultur starterowych w nowoczesnym piekarstwie. *Cukiernictwo i Piekarnictwo* 6: 32–35.
- DIOWKSZ A. 2006a. Pieczywo na zakwasie kluczem do zdrowia. *Prz. Piek. Cukier.* 1: 2–5.
- DIOWKSZ A. 2006b. Rola kultur starterowych w nowoczesnym piekarstwie. Cz. 2. *Cukiernictwo i Piekarnictwo* 7–8: 22–25.
- DOXASTAKIS G., ZAFIRIADIS I., IRAKLIB M., MARLANIB H., TANANAKI C. 2002. Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chem.* 77(2): 219–227.
- ESTRADA-CAMPUZANO G., MIRALLES D.J., SLAFER G.A. 2008. Genotypic variability and response to water stress of pre- and post-anthesis phases in triticale. *Eur. J. Agron.* 28: 171–177.
- FAO. 2008. *Rocznik statystyczny*.
- FENNEMA O.R. 2000. Colorante. [in:] *Química de los alimentos*. 2nd ed. Zaragoza, Editorial Acribia: 972–1005.
- FIK M. 2004. Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości. *Żywność* 2(39): 5–7.
- FIK M., SURÓWKA K. 2002: Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread. *J. Sci. Food Agric.* 82: 1268–1275.
- FLORES M.P., CASTANON J.I.R., MCNAB J.M. 1994. Effects of enzyme supplementation of wheat and triticale based diets for broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49: 237–243.
- FUKUMOTO L.R., MAZZA G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *J. Agr. Food Chem.* 48: 3597–3604.
- FULLER R. 1991. Probiotics in human medicine. *Gut.* 32: 439–442.
- GAWĘCKI J., LIBUDZISZ Z. 2010. *Mikroorganizmy w żywności i żywieniu*. Poznań, Wydaw. Uniwersytetu Przyrodniczego: 95–99.
- GAŚSIOROWSKI H. 1994. *Żyto, chemia i technologia*. Warszawa, PWRiL: 26–231.

- GAŚSIOROWSKI H., KĄCZKOWSKI J. 2004. Skład chemiczny ziarna pszenicy, [w]: *Pszenica, chemia i technologia*. Red. H. Gaśsiorowski. Warszawa, PWRiL: 151–233.
- GHIASI K., HOSENEY R.C., ZELEZNAK K., ROGERS D.E. 1984. Effect of waxy barley starch and re-heating on firmness of bread crumb. *Cereal Chem.* 61(4): 281–285.
- GIANNOU V., TZIA C. 2007. Frozen dough bread: quality and textural behavior during prolonged storage – prediction of final product characteristics. *J. Food Eng.* 79(3): 929–934.
- GIL M.J., CALLEJO M.J., RODRIGUEZ G. 1997. Effect of water content and storage time on white pan bread quality: instrumental evaluation. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A.* 205: 268–273.
- GILL S., VASANTHANF T., OORAİKUL B., ROSSNAGAL B. 2002. Wheat Bread Quality as Influenced by the Substitution of Waxy and Regular Barley Flours in Their Native and Cooked Forms. *J. Cereal Sci.* 36(2): 239–251.
- GLATTHAR J., HEINISCH J.J., SENN T. 2002. A study on the suitability of unmalted triticale as a brewing adjunct. *ASBC* 60: 181–187.
- GLATTHAR J., HEINISCH J.J., SENN T. 2005. Unmalted triticale cultivars as brewing adjuncts: effects of enzyme activities and composition on beer wort quality. *J. Sci. Food Agric.* 85: 647–654.
- GOBBETTI M. 1998. Interactions between lactic acid bacteria and yeasts in sourdoughs. *Trends Food Sci. Technol.* 9: 267–274.
- GOBETTI M., ANGELIS M. DE, CORSETTI A., CAGNO R. DI. 2005. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria. *Trends Food Sci.* 16: 57–69.
- GODFREY T., REICHEL T. 1983. *Industrial Enzymology*. United Kingdom, Macmillan Publishers Ltd.: 210–220.
- GRABOWIEC A.I. 2006. *Pole Augusta, tritikale kul'tura budućego*. [b.w.].
- GRAJEK W. 2005. Naturalne przeciwutleniacze występujące w żywności, [w:] *Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne. Przeciwutleniacze w żywności*. Red. W. Grajek. Warszawa, WNT: 13–14.
- GRIOTTI A.W. 2001. Lipid hydroperoxide generation, turnover, and effector action in biological systems. *J. Lipid Res.* 39: 1529–1542.
- GUARNER F., SCHAAF SMA G.J. 1998. Probiotics. *Int. J. Food Microbiol.* 39: 237–238.
- GUEDES-PINTO H., DARVEY N., ARNIDE V.P. 1996. *Triticale: today and tomorrow*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers: 8–9.
- GÜL H., ÖZÇELİK S., SAĞDIÇ O., CERTEL M. 2005. Sourdough bread production with lactobacilli and *S.cerevisiae* isolated from sourdoughs. *Process Biochem.* 40: 691–697.
- HABER T., CEGLIŃSKA A. 2006. *Niektóre problemy piekarstwa oraz możliwości wykorzystania nowych surowców*. Warszawa, Wydaw. SGGW.
- HALLIWELL B. 1999. Oxygen and nitrogen are pro-carcinogens. Damage to DNA by reactive oxygen, chlorine and nitrogen species: measurement, mechanism, and the effects of nutrition. *Mutat. Res.* 443: 37–52.
- HALLMANN E., REMBIAŁKOWSKA E. 2006. Zawartość związków antyoksydacyjnych w wybranych odmianach cebuli z produkcji ekologicznej i konwencjonalnej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 51(2): 42–46.
- HAMMES W.P., VOGEL R.F. 1995. *The genus Lactobacillus* 2: 19–55.
- HANDELMAN G.J., CAO G., WALTER M.F., NIGHTINGALE Z.D., PAUL G.L., PRIOR R.L., BLUMBERG J.B. 1999. Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) extracts. 1. Inhibition of low-density lipoprotein oxidation and oxygen radical absorbance capacity. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4888–4893.
- HANSEN R. 2012. Triticale: A Viable Alternative for Iowa Producers and Livestock Feeders? Iowa State University. *Marketing Resource Center* 4: 1–2.
- HEGER J., EGGUM B.O. 1991. The nutritional values of some high-yielding cultivars of triticale. *J. Cereal Sci.* 14: 63–71.

- HEINIÖ R., LIUKKONEN K., MYLLYMÄKI O., PIHLAVA J., ADLERCREUTZ H., HEINONEN S., POUTANEN K. 2008. Quantities of phenolic compounds and their impacts on the perceived flavour attributes of rye grain. *J. Cereal Sci.* 47: 566–575.
- HORUBAŁOWA A., HABER T. 1989. *Analiza techniczna w piekarstwie*. Warszawa, WSiP: 177.
- HOSENEY C., MILLER R. 1998. Current understanding of staling of bread. *Technical Bulletin (American Institute of Baking Research Department)* 20(6): 1–6.
- HOSSEINIAN F.S., MAZZA G. 2009. Triticale bran and straw: Potential new sources of phenolic acids, proanthocyanidins, and lignans. *J. Functional Foods*. 1: 57–64.
- HOSSEINIAN F.S., MUIR A.D., WESTCOTT N.D., KROL E.S. 2006. Antioxidant capacity of flaxseed lignans in two model systems. *J. American Oil Chem. Soc.* 83: 835–840.
- ICC STANDARD No. 115/1. *Określanie właściwości reologicznych ciasta*.
- ICC STANDARD No. 131. *Procedura wypieku kontrolnego*.
- IVANOV A.P., PROKOPENKO S.M. 1986. *Fizikohemičeskie i hlebopekarnye svojstva zerna pšenično-ržanych amfidiploidov*. Moskwa, [b.w.]: 27–42.
- IWAŃSKI R. 2011. *Właściwości pieczywa pszenżytniego modyfikowane starterami fermentacji mlekowej i domieszkiwaniem mąką pszenną i żytnią* (dane niepublikowane).
- IWAŃSKI R. 2012. *Technologia produkcji pieczywa pszennego oraz pszenno-żytniego z ciast o wysokiej wydajności wytwarzanego w oparciu o technologię zaparzania mąki z odroczeniem procesu wypieku*. Ekspertyza ZUT: 515-08-023-2253-06/15.
- IWAŃSKI R., WIANECKI M., CEBULSKA J., ADAMKIEWICZ M., RUMIŃSKA A. 2006. Wpływ modyfikacji enzymatycznej na jakość pieczywa pszennego i pszenno-żytniego. *Folia Univ. Agric. Stetin., Sci. Aliment.* 251(5): 23–32.
- IWAŃSKI R., WIANECKI M., DMYTROW I., KRYŻA K. 2012. Effect of fermentation reactions on rheological properties of foods, [in:] *Fermentation: Effect on food properties*. Eds B.M. Mehta, A. Kamal-Eldin, R.Z. Iwański. Chemical and functional properties of food components. Ed. Z.E. Sikorski. Boca Raton, CRC Press: 89–120.
- IWAŃSKI R., WIANECKI M., MIERZWA M., SZYMCAK M., ZIELIŃSKI K., STANISZ P., KLINKOSZ D., KŁOSOWSKA E., KSIEŻAK E., TUBACKA M. 2008. Wpływ temperatury przechowywania na teksturę i strukturę pieczywa. *Folia Univ. Agric. Stetin Agric. Aliment. Pisc. Zootech.* 262(6): 37–48.
- IZYDORCZYK M.S., BILADERIS C.G. 1995. Cereal arabinoxylans: Advances in structure and physico-chemical properties. *Carbohyd. Polym.* 28: 33–48.
- JANKIEWICZ M., MICHNIEWICZ J. 1995. Kwas mlekowy i jego pochodne – ich rola w tradycyjnym i nowoczesnym piekarstwie. *Prz. Piek. Cukier.* 2: 10–12.
- JAROSZ K. 1998. Ciasto żytnie. *Prz. Piek. Cukier.* 2: 53.
- JĘDRZEJCZYK H., HOFFMANN M. 2008. Tendencje w produkcji wyrobów piekarniczych o podwyższonej wartości odżywczej. *Postępy Tech. Przetw. Spoż.* 1: 48–53.
- JONNALA R.S., IRMAK S., MACRITCHIE F., BEAN S.R. 2010: Phenolics in the bran of waxy wheat and triticale lines. *J. Cereal Sci.* 52: 509–515.
- KACZMAREK K. 2007. Pochodzenie, historia i kierunki hodowli pszenżyta. *Porad. Gospod.* 7–8: 398.
- KATINA K., HEINIÖ R.-L., AUTIO K., POUTANEN C. 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT* 39: 1189–1202.
- KESKIN S.O., SUMNU G., SAHIN S. 2004. Bread baking in halogen lamp-microwave combination oven. *Food Res. Int.* 37: 489–495.
- KIM K.H., TSAO R., YANG R.W.S., CUI S.W. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food Chem.* 95: 466–473.
- KOŁAKOWSKI E. 2005. Enzymy i ich wykorzystanie w modyfikacji białek żywnościowych, [w:] *Enzymatyczna modyfikacja składników żywności*. Red. E. Kołakowski, W. Bednarski, S. Bielecki. Szczecin, AR: 71–72.

- KRAWCZYK P., CEGLIŃSKA A., IZDEBSKA K. 2008. Porównanie właściwości reologicznych ciasta i jakości pieczywa otrzymanego z mąki orkiszu i pszenicy zwyczajnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4(59): 14–151.
- KUNACHOWICZ H., NADOLNA I. 2002. Jakość zdrowotna produktów zbożowych z uwzględnieniem żywności specjalnego żywieniowego przeznaczenia. *Prz. Zboż. Młyn.* 2: 3–8.
- KUSZNIEREWICZ B., WOLSKI L., BARTOSZEK A., NAMIEŚNIK J. 2006. Metody oznaczania in vitro właściwości przeciwutleniających próbek żywności. *Cz. 2. Bromat. Chem. Toksykol.* 39(3): 261–270.
- LACKO-BARTOŠOVÁ M. 2010. Nutritional quality and antioxidant capacity of triticum spelta varieties. *J. Ecol. Health.* 6: 290–294.
- LAINIZ E., VERGARA F., BÁRCENAS M.E. 2008. Quality and microbial stability of partially baked bread during refrigerated storage. *J. Food Eng.* 89: 414–418.
- LAPIERRE J.L., DELLEY M., MOLLET B., FELIS G., DELLAGLIO F. 2003. Evolution of the Bacterial Species *Lactobacillus delbrueckii*: A Partial Genomic Study with Reflections on Prokaryotic Species Concep. *Mol. Biol. Eval.* 20: 93–104.
- LIBUDZISZ Z. 2010. Żywność probiotyczna, [w]: *Mikroorganizmy w żywności i żywieniu*. Red. Gałęcki, Z. Libudzisz. Poznań, Wydaw. Uniwersytetu Przyrodniczego: 95–99.
- LINDENMEIER M., HOFMANN T. 2004. Influence of Baking Conditions and Precursor Supplementation on Amounts of the Antioxidant Pronyl-L-lysine in Bakery Products. *J. Agric. Food Chem.* 52: 350–354.
- LIYANA-PATHIRANA C.M., SHAHIDI F. 2006. Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat. *J. Agric. Food Chem.* 54: 1256–1264.
- LOPITZ-OTSOA F., REMENTERIA A., ELGUEZABAL N., GARAIZAR J. 2006. Kefir: A symbiotic yeasts-bacteria community with alleged healthy capabilities. *Rev. Iber. Mic.* 23(2): 67–74.
- LORENZ K. 1982. Triticale processing and utilization: comparison with other cereal grains, [in:] *Handbook of processing and utilization in agriculture*. Vol. 2, part 1. Boca Raton, CRC Press: 277–327.
- ŁAWRUKAJTIS-KLIMKOWSKA M., ŁAWRUKAJTIS M. 1999. Wpływ pentozanów na cechy reologiczne ciasta z mąki żytniej. *Cukiernictwo* 99(4): 22, 24, 26.
- ŁOPACIUK W. 2012. *Analizy rynkowe. Rynek zbóż. Polski rynek zbóż*. Warszawa, Agencja Rynku Rolnego: 43.
- MACRI L.J., BALANCE G.M., LARTER E.N. 1986. Factors affecting the breadmaking potential of flour secondary hexaploid triticales. *Cereal Chem.* 63: 267–270.
- MADHUJITH T., IZYDORCZYK M., SHAHIDI F. 2006. Antioxidant properties of pearled barley fractions. *J. Agric. Food Chem.* 54: 3283–3289.
- MANDALA I., KAPETANAKOU A., KOSTAROPOULOS A. 2008. Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature. II. Effect of freezing. *Food Hydrocoll.* 22: 1443–1451.
- MANZOCCO L., CALINGARIS S., MASTROCOLA P., NICOLI M.C., LERICI C.R. 2001. Review of non enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends Food Sci. Technol.* 11: 340–346.
- MAZZA G., KAY C.D. 2008. Recent advances in polyphenols research, [in:] *Bioactivity, absorption, and metabolism of anthocyanins*. Vol. I. Eds V. Lattanzio, F. Daayf. Oxford, Blackwell Publishing Ltd.: 228–262.
- MAZZA G., MINIATI E. 1993. *Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains*. Boca Raton, CRC Press: 1057–1059.
- MCCALLUM J.A., WALKER J.R.L. 1990. Proanthocyanidins in wheat bran. *Cereal Chem.* 67: 282–285.
- MCKEVITH B. 2004. Nutritional aspects of triticale. British Nutrition Foundation. *Nutrition Bulletin* 29: 111–142.
- MEGAHEY E.K., MCMINN W.A.M., MAGEE T.R.A. 2005. Experimental study of microwave baking of Madeira cake batter. *Food Bioprod. Process.* 83: 277–287.

- MELANDER J.M., WRIGHT A., MATILLA-SANDHOLM T.M. VON. 1997. Potential of lactic acid bacteria and novel antimicrobials against Gram – negative bacteria. *Trends Food Sci. Technol.* 8: 5.
- MICHALIK B. 2009. *Hodowla roślin*. Poznań, PWRiL: 264–280.
- MICHALSKA A., AMIGO-BENAVENT M., ZIELINSKI H., DOLORES DEL CASTILLO M. 2008. Effect of bread making on formation of Maillard reaction products contributing to the overall antioxidant activity of rye bread. *J. Cereal Sci.* 48: 123–132.
- MICHALSKA A., CEGLIŃSKA A., AMAROWICZ R., PISKULA M.K., SZAWARA-NOWAK D., ZIELINSKI H. 2007a. Antioxidant contents and antioxidative properties of traditional rye breads. *J. Agric. Food Chem.* 55: 734–740.
- MICHALSKA H., ZIELIŃSKI H. 2007. Produkty reakcji Maillarda w żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2(51): 5–16.
- MICHALSKA A., ZIELIŃSKI H., SORAL-ŚMIETANA M., STĘPIŃSKA K. 2007b. Zawartość związków fenolowych i pojemność przeciwutleniająca produktów żywnych w stymulowanych in vitro zmianach pH w przewodzie pokarmowym oraz po trawieniu enzymatycznym in vitro. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5(54): 374–384.
- MORALES F.J. 2009. Antioxidant activity of cookies and its relationship with heat-processing contaminants: a risk/benefit approach. *Eur. Food Res. Technol.* 228: 345–354.
- MORALES F.J., JIMENEZ-PEREZ S. 2001. Hydroxymethylfurfural determination in infant milk-based formulas by micellar electrokinetic capillary chromatography. *Food Chem.* 72(4): 525–531.
- NACHTMAN G., ŻEKAŁO M. 2005. *Standardy produkcji ekologicznej i nadwyżka bezpośrednia wybranych produktów rolniczych w 2005 roku*. Prezentacja multimedialna. Warszawa, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej.
- NACZK M., SHAHIDI F. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *J. Pharmaceut. Biomed. Anal.* 41: 1523–1542.
- NERYNG A., AMBROZIAK Z., GĘBSKI J., PÓLTORAK A. 2001. Wpływ procesu przygotowania półproduktów piekarskich na właściwości reologiczne ciasta. *Prz. Piek. Cukier.* 2: 5–7.
- OOMAH B.D., MAZZA G. 1999. Health benefits of phytochemicals from selected Canadian crops. *Trends Food Sci. Technol.* 10: 193–198.
- OSZMIAŃSKI J. 1995. Polifenole jako naturalne przeciwutleniacze w żywności. *Przem. Spoż.* 3: 94–97.
- OUWEHAND A.C., SALMINE S.J. 1998. The Health Effects of Cultured Milk Products with Viable and von-viable Bacteria. *Int. Dairy J.* 8: 749–758.
- PELIG-BA K.B. 2009. Assessment of Phytic Acid Levels in Some Local Cereal Grains in Two Districts in the Upper East Region of Ghana. Pakistan. *J. Nutr.* 8(10): 1540–1547.
- PEÑA R.J., BALANCE G.M. 1987. Comparison of gluten quality in triticale: a fractionation-reconstitution study. *Cereal Chem.* 64: 128–132.
- PETTERSON D., AMAN P. 1988. Effects of enzyme supplementation of diets based on wheat, rye of triticale on their productive value for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 20: 313–324.
- PIĄTKOWSKA E., WITKOWICZ R., PISULEWSKA E. 2010. Właściwości antyoksydacyjne wybranych odmian owsa siewnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 3(70): 100–107.
- PIESIEWICZ H. 1994. Chleb pszenny na zakwasie – aspekt technologii i mikrobiologii. *Prz. Piek. Cukier.* 8: 3–6.
- PIESIEWICZ H. 1997. Bio-chleb. *Prz. Piek. Cukier.* 4: 2–5.
- PIESIEWICZ H. 2005. Wzrost znaczenia czystych kultur starterowych. *Prz. Piek. Cukier.* 4: 16.
- PIESIEWICZ H. 2007. Ewolucja znaczenia chleba w żywieniu człowieka. *Prz. Piek. Cukier.* 9: 4–6.
- PN-92/A-74101 Zmiana 2. 1996. *Pieczywo żytnie*.
- PN-A/74032:1986. *Mąka żytnia*.
- PN-A-74022/A1:1996. *Mąka pszenna*.
- PN-A-74108:1996. *Ocena organoleptyczna pieczywa*.

- PN-ISO-5530-1P:1999. *Fizyczne właściwości ciasta. Oznaczanie wodochłonności i właściwości reologicznych za pomocą farinografu.*
- PN-ISO-3093/K:2010. *Liczba opadania.*
- PODOLSKA G. 2008. Pszenżyto na chleb. *Farmer* 15.
- POINOT P., ARVISENET G., GRUA-PRIOU J., COLAS D., FILLONNEAU C., BAIL A. LE, PROST C. 2008. Influence of formulation and process on the aromatic profile and physical characteristics of bread. *J. Cereal Sci.* 48(3): 686–697.
- PRATT D.E., HADSON R.J.F. 1990. Natural antioxidants not exploited commercially, [in:] *Food antioxidants*. New York, Elsevier. Pub: 171.
- PRETORIUS I.S., TOIT M. DU, RENSBURG P. VON. 2003. Desinger Yeasts for the Fermentation Industry of the 21<sup>st</sup> Century. *Food, Technology, Biotechnology* 41: 3–10.
- PRZYBYLSKA S., IWAŃSKI R., TOKARCZYK G. 2009a. Wpływ dodatku cukru i soli kuchennej na barwę przecieru marchwiowego podczas sterylizacji. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric., Aliment., Pisc. Zootech.* 272(11): 27–42.
- PRZYBYLSKA S., IWAŃSKI R., TOKARCZYK G. 2009b. Wpływ powietrza i dodatku soli metali na zmiany barwy przecieru pomidorowego podczas sterylizacji. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric., Aliment., Pisc. Zootech.* 272(11): 55–72.
- PURLIS E., SALVADORI V.O. 2007. Bread browning kinetics during baking. *J. Food Eng.* 80(4): 1107–1115.
- PYLER E.J. 1988. *Baking science and technology*. Vol. 2. [b.m.], Meriam Sosland Publishing Corporation.
- RAGAEI S., ABDEL-AAL E.-S. NORMAN M. 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected grain for food use. *Food Chem.* 98: 32–38.
- RAKHA A., ÅMAN P., ANDERSSON R. 2011. Dietary fiber in triticale grain: Variation in content, composition, and molecular weight distribution of extractable components. *J. Cereal Sci.* 54: 324–331.
- RANI K.U., PRASADA RAO U.J.S., LEELAVATHI K., HARIDAS RAO P. 2001. Distribution of enzymes in wheat flour mill streams. *J. Cereal Sci.* 34: 233–242.
- RE R., PELLEGRINI N., PROTEGGENTE A., PANNALA A., YANG M., RICE-EVANS C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26: 1291–1237.
- RICE-EVANS C.A., MILLER N.J., PAGANGA G. 1996. Structure – antioxidants activity relationship of flavonoids and phenolic acid. *Free Radic. Biol. Med.* 20: 933–956.
- ROGERS D.E., ZELEZNAK K.J., LAI C.S., HOSENEY R.C. 1988. Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chem.* 65(5): 398–401.
- ROONEY L.W., GUSTAFSON C.B., PEREZ N.K.B. 1969. *Agronomic performance and quality characteristics of triticale grown on the Texas high plains*. Progress report Texas A&M, TX, USA. Texas Agricultural Experimental Station.
- SADKIEWICZ K., MELKOWSKI A. 2011. *Pieczyno żytnie i mieszane na kwasie*. Warszawa, Polski Związek Producentów Roślin Zbożowych.
- SAINI H.S., HENRY R.J. 1989. Fractionation and evaluation of Triticale pentosans: Comparison with wheat and rye. *Cereal Chem.* 66: 11–14.
- SANTIVERI F., ROYO C., ROMAGOSA I. 2004. Growth and yield responses of spring and winter triticale cultivated under Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 20: 281–292.
- SEMBRTOWICZ I., CZECH A. 2005. Naturalne przeciwutleniacze występujące w żywności. *Postępy Nauk Rol.* 1: 75–85.
- SĘKOWSKA A. 1999. Probiotyki, pałeczki kwasu mlekowego, *Lactobacillus*. *Nutrition & Health* 4: 3–6.



- SHAHIDI F., NACZK M. 2004. Cereals, legumes, and nuts, [in:] *Phenolics in food and nutraceuticals*. Eds F. Shahidi, M. Naczk. Boca Raton, CRC Press: 17–82.
- SHARADANANT R., KHAN K. 2003. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: 2. Bread characteristics. *Cereal Chem.* 80(6): 773–780.
- SPELHAUG S.R., HARLANDER S.K. 1989. Inhibition of Foodborne Bacterial Pathogens by Bacteriocins from *Lactococcus lactis* and *Pediococcus pentosaceus*. *J. Food Prot.* 52(12): 856–862.
- SPROESSLER B.G. 1993. Milling and baking, [in:] *Enzymes in food processing*. Eds T. Nagodawithana, G. Reed. 3rd ed. San Diego, Academic Press: 293–320.
- STADTMAN E.R. 2006. Oxidation of free amino acid and acid residues in proteins by radiolysis and by metal-catalyzed reactions. *Ann. Rev. Biochem.* 62: 797–821.
- STALLKNECHT G.F., GILBERTSON K.M., RANNEY J.E. 1996. Alternative wheat cereals as food grains. [in:] *Progress in New Crops*. Ed. J. Janick. Alexandria, Virginia, USA, ASHS Press: 156–170.
- STASZEWSKA E., PIESIEWICZ H. 2005a. Kierownie procesem fermentacji i kształtowanie smaku chleba *Prz. Piek. Cukier.* 12: 2–5.
- STASZEWSKA E., PIESIEWICZ H. 2005b: Tradycyjne wytwarzanie ciast żytnich i mieszanych. Cz. I. *Prz. Piek. Cukier.* 11: 8–13.
- STRUS M., HECZKO P. 2007. *Zdrowotne oddziaływanie probiotyków*. Warszawa, PWN: 33–42.
- SZAJDEK A., BOROWSKA J. 2004. Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4(41): 9–20.
- SZCZEPANIK G., PTAK K., IWAŃSKI R. 2010. Influence of the cheese addition on physicochemical and sensory changes in wheat bread during frozen storage. *EJPAU* 13(1): #10.
- SZEFLIŃSKA D., JASTRZĘBSKI A., KARG J. 2003. Impact of different crop management systems on the richness of the communities of the above Grodnu insects and soil insect larvae. *Bull. Pol. Acad. Sci.* 51(1): 35–50.
- ŚLEZAK M. 2007. Produkcja pieczywa ekologicznego w Spółdzielni Piekarsko-Ciastkarskiej „Fawor” w Poznaniu. *Prz. Piek. Cukier.* 4: 14–15.
- ŚWIDERSKI F. 2003. *Towaroznawstwo żywności przetworzonej*. Warszawa, Wydaw. SGGW.
- ŚWIDERSKI F., WASZKIEWICZ-ROBAK A. 2005. Składniki bioaktywne żywności funkcjonalnej. *Przem. Spoż.* 4: 20–22.
- ŚWIETLIK K. 2011. *Spożycie pieczywa w Polsce*. Raport. Warszawa, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej.
- TANAKA K., FURUKAWA K., MATSUMOTO H. 1967. The effect of acid and aalt on the farinogram and extensigram of dough. *Cereal Chem.* 44: 675–679.
- TANG S.Z., KERRY J.P., DHEEHAN D., BUCKLEY D.J. 2002. Antioxidative mechanisms of tea catechins in chicken meat systems. *Food Chem.* 76: 45–51.
- THERDTHAI N., ZHOU W., ADAMCZAK T. 2002. Optimization of the temperature profile in bread baking. *J. Food Eng.* 55: 41–48.
- TOHVER M., KANN A., TÄHT R., MIHHALEVSKI A., HAKMAN J. 2005. Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. *Food Chem.* 89: 125–132.
- TURKMEN N., SARI F., VELIGBU S.Y. 2005. The effect of cooling methods on total phenolics and anti-oxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem.* 93: 713–718.
- TYNEK M., HAZUKA Z. 2004. Dodatki ograniczające przemiany termooksydatywne tłuszczów. *Przem. Spoż.* 12: 42–46.
- UNRAU A.M., JENKINS B.C. 1964. Investigation on synthetic cereal species. Milling, baking and some compositional characteristics of some triticale and parental species. *Cereal Chem.* 41: 365–375.
- VASILČENKO S.A. 1980. Issledovanie tritikale dlâ pererabotki v hlebo – pekarnuû muku. *Mukomol'no-èlevatornaâ i kombikormowaâ promyšlennost'* 5: 16–18.

- WANGA S., THOMASA K.C., SOSULSKIB K., INGLEDEWA W.M., SOSULSKIC F.W. 1999. Grain pearling and very high gravity (VHG) fermentation technologies for fuel alcohol production from rye and triticale. *Process Biochem.* 34(5): 421–428.
- WEIDNER S., AMAROWICZ R., KARAMAĆ M., DĄBROWSKI G. 1999. Phenolic acids in caryopses of two cultivars of wheat, rye and triticale that display different resistance to pre-harvest sprouting. *Eur. Food Res. Technol.* 210: 109–113.
- WŁODARCZYK M., DIOWKSZ A. 1995. Ocena jakości kultury starterowej w dwufazowej fermentacji zakwasów piekarskich. *Prz. Piek. Cukier.* 8: 11–13.
- WŁODARCZYK M., DIOWKSZ A. 1998. Piekarskie kultury starterowe – szansa zdrowotna i ekonomiczna. *Cukiernictwo i Piekarstwo* 8: 5–7.
- WOJTATOWICZ M., CHRZANOWSKA J. 1998. Antydrobnoustrojowa aktywność bakterii kwasu mlekowego. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*: 38–54.
- WOŁOSIAK R., WOROBIEJ E. 2005. *Naturalne przeciwutleniacze występujące w żywności. Przeciwu-tleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne.* Warszawa, WNT: 229–235.
- WROCZYŃSKI P. 2008. Stres oksydacyjny. *Manager Apteki* 6.
- YANG B., KOTANI A., ARAI K., KUSU F. 2001. Estimation of the antioxidant activity of flavonoids from their oxidation potentials. *Anal. Sci.* 17: 599–604.
- YASEEN A.A.E., SHOUK A.A., SADOWSKA J., FORMAL J., JELIŃSKI T. 2001. Effect of pectin and  $\alpha$ -amylase on the microstructure and staling of bread. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 10(4): 19–25.
- YIA J., KERRB W.L. 2009. Combined effects of dough freezing and storage conditions on bread quality factors. *J. Food Eng.* 93(4): 495–501.
- ZARĘBA D., OSTASIEWICZ A. 2009. Funkcjonalność prozdrowotna i technologiczna procesu fermentacji ciasta – tradycja i postęp naukowy. *Postępy Tech. Przetw. Spoż.* 1: 70–73.
- ZHAO Z., MOGHADASIAN M.H. 2008. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: A review. *Food Chem.* 109: 691–702.
- ZHOU K., YIN J.J., YU L.L. 2005. Phenolic acid, tocopherol and carotenoid compositions, and antioxidant functions of hard red winter wheat bran. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3916–3922.
- ZIELIŃSKI H., CEGLIŃSKA A., MICHALSKA A. 2008. Bioactive compounds in spelt bread. *Eur. Food Res. Technol.* 226: 537–544.



# **The possibilities of using certain preparations of lactic acid bacteria as a factor in improving the usefulness of the technological and nutritional triticale breads**

## **Summary**

The study analyzed baking potential of triticale flours depending on tillage system (conventional systems and ecological system). The main quality parameters of the produced flour (500 type) were compared to analyses provisioned for wheat flour accordingly to the Polish Standard PN-A-74022/A1:1996 and for rye flour according to PN-A-74032:1986. The flour extraction rate reached 51% on average. The produced flours were conditioned and stored under refrigerating conditions ( $-18^{\circ}\text{C}$ ), in a dark room in order to eliminate pests development and effects of UV radiation. The analysis of the stability of formed dough and its quality parameters demonstrated that only triticale cultivar *Moderato* was suitable for the formation of stable dough that might be further processed in order to produce bread with acceptable quality parameters. The addition of a protective preparation in the antibiotic therapy (Trilac) had a more beneficial effect on the correction of bread taste and aroma, whereas a dairy preparation Mesophile Type B turned out to be more effective in maintaining the basic baking parameters of bread. Bread baked from flours produced from organic farming was less susceptible to changes of volume and moisture content. The addition of Trilac preparation affected equal values of moisture content of wheat, triticale and rye breads. The organic flour applied for wheat bread production caused a decrease in its moisture content, whereas in most of rye and triticale breads it increased the value of this parameter (in both tillage systems examined). The addition of Mesophile Type B preparation contributed to a reduction in the stove loss and total baking weight loss in all analyzed cases (particularly in triticale and rye bread). In turn, the addition of Trilac preparation resulted in equal porosity values of wheat bread made of flours from both conventional and ecological tillage system. The addition of Mesophile Type B preparation had an insignificant effect on the improvement of TPA test results, except for adhesiveness. Modification with lactic acid starter caused an increase in bread hardness, but also a more uniform distribution of crumb pores in the Dallmann's test. The decrease in adhesiveness affected high losses during dough processing, especially in the case of triticale flours irrespective of the tillage system applied. The use of Trilac preparation caused an increase in sensory scores of the bread in both tillage systems and in all types of flour. Freezing ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) of ready dough had no significant effect on its hardness after the storage period, irrespective of cereal tillage system. The triticale bread was characterized by the lowest values of brightness and yellowness and by the highest redness of crumb and skin. The brightness of triticale bread crumb was changing under the influence of probiotic additives. At preparation concentration of up to 10% it exhibited an ascending tendency to the level approximating that of the control sample, whereas preparation concentration increase to 15% caused a decrease in brightness value by 4 to 10%. In the case of triticale bread color, the organic system of tillage had a positive effect on bread without

fermentation starter addition. The standard 5% addition of the starter caused significant deviations in brightness value. An analogous situation was observed in the case of redness value of bread without the starter. Irrespective of the preparation applied and bread type, the skin is characterized by a higher antioxidative activity compared to crumb. The antioxidative activity of bread is determined by the type of applied preparation and its concentration. The addition of Trilac preparation had no significant effect on antioxidative activity enhancement in the analyzed breads. The 10% addition of Lacidozone and Mesophile Aromatic Type B preparations caused the most beneficial changes in the redox potential of wheat bread. In rye bread, the application of Mesophile Aromatic Type B preparation in a dose of 5% enabled an increase in the antioxidative activity compared to the control sample. In triticale bread, the addition of Mesophile Aromatic Type B preparation was enhancing the antioxidative activity irrespective of the concentration applied.

# **Die Möglichkeiten der Verwendung bestimmter Zubereitungen von Milchsäurebakterien als Faktor bei der Verbesserung der Nützlichkeit der technologischen und ernährungsphysiologischen Triticale Brot**

## **Zusammenfassung**

Analysiert wurde die Eignung von Triticale-Mehl für das Bäckerhandwerk je nach dem Anbausystem (konventioneller und ökologischer Anbau). Die erreichten Werte der Hauptindikatoren zur Feststellung der Qualität des gewonnenen Mehlsorte (Typ 500) wurden verglichen mit den Ergebnissen von Analysen, die für Weizenmehl (gemäß PN-A-74022/A1:1996) und Roggenmehl (PN-A-74032:1986) vorgesehen sind. Gewonnen wurde ein 51% - er Mehlextrakt. Die erzeugten Mehltypen wurden ferner konditioniert und unter Tiefkühlbedingungen ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) in Dunkelraum aufbewahrt, um der Entwicklung von Schmarotzern vorzubeugen sowie den Einfluss von UV-Strahlung zu eliminieren. Die Analyse der Qualität des erzeugten Teigs sowie seiner Qualitätsindikatoren hat gezeigt, dass sich ausschließlich die Triticale-Sorte *Moderato* dafür eignet, einen stabilen Teig zu erzeugen, der zum Gebäck mit akzeptablen Qualitätsparametern verarbeitet werden kann. Die Zugabe von Magenschutzmittel in der Antibiothikatherapie (Trilac) hat den Geschmack und das Aroma der erzeugten Backwaren positiv beeinflusst, und das in der Milchwirtschaft verwendete Präparat Mezofile Typ B hat effektiver auf den Erhalt der erforderlichen Hauptparameter der Backwaren eingewirkt. Die Gebäck, für dessen Erzeugung Mehl aus dem ökologischen Anbau verwendet wurde, änderte im geringeren Ausmaß seinen Volumen und Feuchtigkeit. Die Zugabe des Präparats Trilac hat es möglich gemacht, die gleiche Feuchtigkeit bei Backwaren aus Weizen-, Roggen- und Triticale-Mehl zu erreichen. Die Verwendung vom Mehl aus dem ökologischen Anbau hat im Falle des Weizenmehls eine Senkung der Feuchtigkeit, bei den meisten Roggen- und Triticale-Backwaren dagegen die Erhöhung der Feuchtigkeit verursacht (bei allen untersuchten Anbausystemen). Dank der Zugabe des Präparats Mezofile Typ B war der Backverlust in allen untersuchten Fällen (insbesondere in Bezug auf Triticale- und Roggengebäck) niedriger. Unter Zugabe von Trilac wurde die Porosität von Backwaren aus Weizenmehl vom konventionellen und ökologischen Anbau ausgeglichen. Die Zugabe des Präparats Mezofile Typ B hat unwesentlich die TPA-Testergebnisse bis auf die Klebefähigkeit verbessert. Die Modifizierung mit dem Starter (Milchsäurebakterien) hat die Festigkeit des Gebäcks erhöht, aber auch eine gleichmäßigere Verteilung der Poren nach Dallmann. Die Senkung der Klebefähigkeit hat große Verluste bei der Teigverarbeitung, insbesondere bei den Triticale-Mehltypen und dies unabhängig vom Herkunftsanbau, verursacht. Unter der Anwendung von Trilac sind alle Hauptindikatoren der sensorischen Beurteilung von Backwaren unabhängig vom Anbausystem und Mehlsorte gestiegen. Die Tiefkühlung (bei  $-18^{\circ}\text{C}$ ) der fertigen Backwaren hat sich nicht wesentlich auf ihre Festigkeit nach der Aufbewahrungszeit ausgewirkt und dies unabhängig vom Anbausystem. Das Triticale-Gebäck zeigte die niedrigste Helligkeit und den niedrigsten b Wert (gelb) sowie den höchsten a-Wert (rot) in Bezug auf

Kruste und Krume. Die Helligkeit der Krume im Triticale-Gebäck hat sich unter der Zugabe von probiotischen Präparaten geändert und bis zur 10%-er Konzentration machte sich eine steigende Tendenz bis zum Niveau der Kontrollprobe bemerkbar. Die Konzentration bis 15% verursachte die Senkung der Helligkeit von 4 bis zu 10%. Der ökologische Anbausystem hat sich im Falle des Triticale-Gebäcks positiv auf seine Farbe ausgewirkt und dies ohne die Zugabe von Starter. Die standardmäßige 5%-ige Zugabe des Starters bewirkte wesentliche Abweichungen der Helligkeit. Eine analogische Situation wurde in Bezug auf den a-Wert (rot) des untersuchten Gebäcks ohne die Zugabe des Starters festgestellt. Unabhängig von dem verwendeten Präparat und der Gebäcksorte weist die Kruste eine höhere antioxidative Wirkung als die Krume auf. Die antioxidative Wirkung des Gebäcks hängt vor allem von der Art des verwendeten Präparats und seiner Konzentration ab. Die Zugabe des Präparats Trilac hat sich nicht wesentlich auf die Erhöhung der antioxidativen Aktivität im Gebäck ausgewirkt. Die Zugabe der Präparate Lacidzone i Mesophile Aromatic Type B in der 10%-igen Konzentration hat das antioxidative Potential des Weizengebäcks am stärksten erhöht. In Bezug auf das Roggengebäck hat die Verwendung von Mesophile Aromatic Type B (5% Konzentration) eine Erhöhung der antioxidativen Wirkung im Vergleich zur Kontrollprobe bewirkt. Im Triticale-Gebäck hat die Zugabe des Präparats Mesophile Aromatic Type B, unabhängig von der Konzentration die Erhöhung der antioxidativen Wirkung verursacht.

Biblioteka Główna  
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu  
Technologicznego w Szczecinie

**CZ.56388**



001-056388-00-0

**CZ.17.04**

ISBN 978-83-7663-166-0