

RADOSŁAW JÓZEF CZYK¹, SZAJNA ANNA², MACIEJ BALAWEJDER¹

¹Zakład Chemii i Toksykologii Żywności, Instytut Technologii Żywności i Żywienia, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-601 Rzeszów, e-mail: rjozefczyk@ur.edu.pl

²studentka kierunku Technologia Żywności i Żywienia, Uniwersytet Rzeszowski

WPLYW PROCESU OZONOWANIA NA PARAMETRY TEKSTURY, AKTYWNOŚĆ ANTYOKSYDACYJNĄ I WŁAŚCIWOŚCI ORGANO-LEPTYCZNE DŻEMÓW Z OWOCÓW BORÓWKI WYSOKIEJ I JABŁEK

Owoce borówki wysokiej i jabłka poddano działaniu mieszaniny powietrza z ozonem. Ozon generowany był poprzez wyładowania koronowe w stężeniu 1, 10 i 100 ppm przez 5 minut w przypadku jabłek, stanowiących wsad i 30 min w przypadku borówki amerykańskiej będącej głównym surowcem do wykonania dżemów. Wykonane dżemy zostały poddane ocenie organoleptycznej na podstawie wybranych cech sensorycznych jak: barwa, zapach, smak, konsystencja, smarowność, faktura. Ocenie została poddana również tekstura dżemu, przy użyciu maszyny wytrzymałościowej, za pomocą testu TPA, podającego następujące parametry: twardość, siła niszcząca, praca ściskania, adhezynność, sprężystość, gumistość. Wykonano również analizy biochemiczne, wyznaczając aktywność antyoksydacyjną wobec DPPH oraz zawartość polifenoli z użyciem metody Folina-Ciocalteu. Porównanie dżemów przygotowanych z owoców borówki i jabłek poddanych procesowi ozonowania atmosferą ozonową o stężeniach 1 ppm w czasie 5 minut dla jabłek oraz 10 i 100 ppm dla owoców borówki w czasie 30 minut, wykazało, że: 1) uprzednie ozonowanie nie ma istotnego wpływu na cechy sensoryczne wykonanych z nich dżemów, z wyjątkiem użycia najwyższej dawki ozonu (100 ppm), 2) wpływa w sposób istotny, ale co do kierunku niejednoznaczny i zależny od mierzonego parametru na teksturę wyznaczoną z użyciem standardowego testu TPA (twardość, siła niszcząca, praca ściskania, adhezynność, sprężystość, gumistość), ze wskazaniem na podniesienie twardości i wielkości pochodnych. 3) wpływa w sposób istotny na aktywność antyoksydacyjną dżemów borówkowych oraz zawartość polifenoli dżemów jabłkowych. 4) ponadto, oceniane parametry sensoryczne i tekstury oraz aktywność antyoksydacyjna i zawartość polifenoli w gotowych dżemach, w istotny sposób zależą od rodzaju użytego owocu.

Słowa kluczowe: ozon, dżem, borówka wysoka, aktywność antyoksydacyjna, tekstura

I. WSTĘP

Obecnie uzasadnione jest poszukiwanie metod pozwalających osiągać różne formy spowalniania zużywania zasobów środowiska [Kostecka i in. 2023]. Dlatego rozwiązując problemy z zakresu przechowywania żywności poszukuje się sposobów wydłużania czasu jej przechowywania, czy ograniczania strat oraz ilości odpadów surowców roślinnych. Takie efekty zmniejszają obciążenie środowiska produkcją żywności. W przechowalnictwie korzystne

DOI: 10.15584/pjsd.2024.28.1.12

zastosowanie wydaje się mieć ozon [Balawejder i in. 2016], bo można go wykorzystywać do krótkotrwałego oddziaływania gazowego na powierzchni np. warzyw i owoców [Ziarno i Zaręba 2015]. Ozon odznacza się silnymi właściwościami dezynfekcyjnymi, wysoką reaktywnością i szybką, samoistną konwersją do tlenu, przez co nie pozostawia pozostałości [Bukała 2013]. Ozon wpływa korzystnie na wydłużenie czasu przechowywania takich owoców i warzyw jak jabłka, winogrona, pomarańcze, gruszki, maliny, truskawki, brokuły czy ogórki [Kroskowiak i in. 2007]. Charakter oddziaływania silnego utleniacza jakim jest ozon na owoce polega na aktywacji mechanizmów antyoksydacyjnych skutkujących podniesieniem parametrów aktywności antyoksydacyjnej, co może być jednym z ciekawszych aspektów użycia ozonu w stosunku do owoców [Piechowiak i in. 2020, Michalski 2016].

Niniejsza praca jest próbą odpowiedzi na pytanie czy proces ozonowania owoców borówki i jabłka zmieni właściwości wykonywanego z nich dżemu.

II. MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły owoce borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum L.*) odmiany 'Bluecrop' zakupione na rynku lokalnym w ilości 7 kg, oraz jabłka (*Malus domestica Borkh*) odmiany 'Papierówka' z lokalnej uprawy ekologicznej, pochodzące podobnie, z okolic Rzeszowa w ilości 18 kg. Owoce były zdrowe, bez objawów uszkodzeń, zmian chorobotwórczych oraz procesów gnilnych.

Układ doświadczenia

Część owoców przeznaczono na próbę kontrolną, zaś pozostałą ilość podzielono na części poddane procesowi ozonowania atmosferą o różnych stężeniach ozonu w powietrzu zgodnie z tabelą 1. Następnie zrobiono z nich dżemy wg proporcji wymienionych w tej samej tabeli i pasteryzowano. Celem identyfikacji, każdemu dżemowi przypisano odpowiedni kod. Gotowe dżemy poddano ocenie organoleptycznej, a następnie pomiarom tekstury oraz analizom biochemicznych parametrów jakościowych. Obejmowały one zawartość całkowitą związków polifenolowych i aktywność antyoksydacyjną.

Ozonowanie owoców

Ozonowanie owoców przeprowadzono w komorze o objętości 7 dm³ z perforowanym dnem umożliwiającym cyrkulację powietrza. Owoce rozłożono pojedynczą warstwą w komorze do ozonowania. Do komory wprowadzono rurkę z dyfuzorem ozonu generowanym w ozonatorze Korona L5 Zdrowa Żywność (produkcja Piotrków Trybunalskich) drogą wyładowań koronowych z powietrza jako gazu substratowego. Stężenie ozonu w komorze kontrolowano przy użyciu analizatora stężeń ozonu firmy 2B Technologies model 106 M. Owoce ozonowano w następujących stężeniach: jabłko- 1ppm, borówka- 10 oraz 100 ppm. Proces trwał 30 min w przypadku owoców borówki oraz 5 min w przypadku jabłek. Czas oraz użyte stężenia procesu ozonowania zestawiono w tabeli 1. Po ozonowaniu owoce pozostawiono w ciemnym, chłodnym miejscu do następnego dnia, kiedy wykonano dżemy. Czas miał aktywować procesy biologiczne przez użyty ozon.

Sposób wykonania dżemów

Przed użyciem owoce płukano w wodzie bez dodatków, a jabłka obrano ze skórki i pozbawiono komór nasiennych. Owoce borówki wysokiej w przetworach takich jak dżemy występują zwykle jako dodatek, dlatego bazą były jabłka, a owoce borówki miały udział 67%, przy czym wykonano także dżemy czyste, borówkowe oraz jabłkowe jako kontrolne, zarówno z owoców nie poddanych, jak też poddanych procesowi obróbki atmosferą ozonową w różnych stężeniach ozonu. Uzyskano finalnie wiele wariantów z podwójną kontrolą włącznie (tab. 1).

Dżemy wykonano według następującej proporcji: na 1 kg owoców przypadało 400 g cukru oraz 100 ml wody. Każdy w 3 powtórzeniach, w słoikach 300 ml. Gorący dżem przelano do wyparzonych słoików i szczelnie zamknięto, słoiki z dżemem poddano pasteryzacji, po czym przechowywano w chłodnym i ciemnym miejscu w temperaturze około 10°C, do momentu przeprowadzenia badań.

Tabela 1 – Table 1

Rodzaj wykonanych dżemów: proporcje surowców i sposób traktowania atmosferą ozonową wraz z przypisanym kodem / *Type of jams made: proportions of raw materials and method of treatment with ozone atmosphere along with the assigned code*

Rodzaj dżemu <i>Type of jams</i>	Kod dżemu <i>Jam Code</i>	Ilość dodanego surowca na 100g dżemu / <i>Amount of added raw material per 100g of jam</i>		Stężenie ozonu; czas ozonowania <i>Ozone concentration, ozonation time</i>
		Borówka <i>Blueberry</i>	Jabłko <i>Apple</i>	
kontrola - jabłkowy nieozonowany <i>Apple non-ozonated</i>	Jabłkowy 0 ppm (K) / <i>Apple</i>	0 g	100 g	0 ppm
Jabłkowy ozonowany <i>Apple ozonated</i>	Jabłkowy 1 ppm <i>Apple</i>	0g	100g	1 ppm 5 min
Borówkowy nieozonowany <i>Blueberry non-ozonated</i>	Borówkowy 0 ppm <i>Blueberry</i>	100 g	0 g	0 ppm
Borówkowy ozonowany <i>Blueberry ozonated</i>	Borówkowy 10 ppm <i>Blueberry</i>	100 g	0 g	10 ppm 30 min
	Borówkowy 100 ppm <i>Blueberry</i>			100 ppm 30 min
Jabłkowo-borówkowy nieozonowany <i>Apple-blueberry non- ozonated</i>	Jabłkowo- borówkowy 0 ppm <i>Apple-blueberry</i>	67 g	33 g	0 ppm
Jabłkowo-borówkowy ozonowany <i>Apple-blueberry ozonated</i>	Jabłkowo (1 ppm)- borówkowy (10 ppm) <i>Apple-blueberry</i>	67 g	33 g	1 ppm, 5 min
				10 ppm, 30min
	Jabłkowo (1 ppm) borówkowy (100 ppm) <i>Apple-blueberry</i>			1ppm, 5 min
				100ppm, 30min

Ocena organoleptyczna dżemów

Gotowe dżemy poddano ocenie organoleptycznej przez 10 osób, które wartościowały następujące wyróżniki jakości: barwa, zapach, smak, konsystencja, smarowność, faktura w skali 5 punktowej (1 pkt-min; 5 pkt-max).

Metodyka pomiaru tekstury

Tekstura została oceniona z użyciem maszyny wytrzymałościowej firmy MecMesin Multitest 2.1 z wykorzystaniem czujnika siły o zakresie 1 000 N, statywu o wytrzymałości 2 500 N, przystawek dedykowanych przez producenta do ekstruzji współbieżnej o cylindrze z otworem 6 mm i ekstruzji przeciwbieżnej oraz oprogramowania umożliwiającego analizy tekstury w standardzie testu TPA. Wykonano pomiar dla 24 dżemów (n=3 dla każdego wariantu) z użyciem przystawek

do ekstruzji współbieżnej oraz przystawek do ekstruzji przeciwbieżnej o średnicy cylindra 50 mm oraz proces zagłębiania cylindra o średnicy tłoka 35 mm, co pozwoliło zebrać takie parametry jak: twardość, siła niszcząca, praca ściskania, adhezyjność, sprężystość, gumistość. Otrzymane dane porównano między kategoriami i różnymi analizami z użyciem metod statystycznych.

Analiza wybranych parametrów biochemicznych jakościowych dżemów

Dla dżemów z owoców ozonowanych jak i nieozonowanych, przeprowadzono analizę wybranych biochemicznych parametrów jakościowych, jak oznaczanie aktywności antyoksydacyjnej z użyciem DPPH oraz oznaczanie zawartości polifenoli ogółem.

Aby umożliwić ww. analizy, z dżemów przygotowano ekstrakty metanolowe. Wszystkie dżemy zhomogenizowano, po czym odważono każdy osobno do falconów po 5 g. Następnie do każdego falconu dodano 15 ml metanolu 75% i wytrząsano 15 min (4 x rozcz. dżem). Kolejno, próbki dżemów przeniesiono do eppendorfów o objętości 2 ml i wirowano przez 30 minut przy 15 tys. g. Supernatant przeniesiony do nowych eppendorfów posłużył jako ekstrakt do analiz, czyli oznaczenia aktywności antyoksydacyjnej wobec rodników DPPH i zawartości polifenoli ogółem.

Oznaczenie aktywności antyoksydantów wobec rodników DPPH

Ogół aktywności antyoksydacyjnej badanych dżemów wyrażono jako ekwiwalent troloksu zdolnego do tłumienia aktywności rodników DPPH i przypadającego na 100 g dżemu [mg Trolox/100g], w tym celu:

1. Sporządzono roztwory wzorcowe troloksu w metanolu kolejno rozcieńczając (w proporcji 1 : 1) roztwór podstawowy o stężeniu wyjściowym 2 mg/ml i uzyskując stężenia wzorców: 1,00; 0,50; 0,25; 0,125; 0,0625; 0,03125 mg/ml troloksu,
2. Odpipetowano do płytki trzykrotnie po 5 µl supernatantu nierozcieńczonego,
3. W tym samym czasie, odpipetowano roztwory wzorcowe troloksu w metanolu (po 5 µl) na płytki, potrzebne do przygotowania krzywej wzorcowej,
4. Dodano 195 µl rodników DPPH,
5. Przez 30 minut płytki inkubowano, a następnie zmierzono absorbancję przy 515 nm,
6. Wykreślono krzywą wzorcową opisującą równanie: $y = -0,1188x + 0,6899$ ($R^2 = 0,993$) pozwalające obliczyć aktywność antyoksydacyjną próbek (po uwzględnieniu rozcieńczenia).

Oznaczenie zawartości polifenoli ogółem

Zawartość polifenoli ogółem w dżemach wyrażono jako ekwiwalent kwasu galusowego (GAE) wybarwionego z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteu przypadającego na 100 g dżemu [mg GAE/100g], w tym celu:

1. Sporządzono roztwory wzorcowe kwasu galusowego w metanolu kolejno rozcieńczając (w proporcji 1 : 1) roztwór podstawowy o stężeniu wyjściowym 1 mg/ml uzyskując stężenia wzorców: 0,50; 0,25; 0,125; 0,0625; 0,03125 mg/ml kwasu galusowego,
2. Odpipetowano do płytki trzykrotnie po 10 µl supernatantu rozcieńczonego 10-krotnie,
3. W tym samym czasie, odpipetowano roztwory wzorcowe kwasu galusowego w metanolu (po 5 µl) roztworu metanolowego rodników DPPH na płytki, do wykonania krzywej wzorcowej,
4. Dodano po 90 µl wody destylowanej, 20 µl odczynnika Folina Ciocalteu, uprzednio rozcieńczonego z wodą 1:1 i 25 µl 20% Na_2CO_3 ,
5. Przez 30 min płytki inkubowano w ciemności i zmierzono absorbancję czytnikiem płytek BioTek Epoch przy $\lambda = 700\text{nm}$,
6. Wykreślono krzywą wzorcową, opisującą równanie: $y = -0,1617x + 0,0567$ ($R^2 = 0,9865$) pozwalające obliczyć aktywność antyoksydacyjną próbek (po uwzględnieniu rozcieńczenia).

Opracowanie statystyczne

Wyniki opracowano z użyciem programu Microsoft Excel 2021, oraz programu STATISTICA 13.3 z użyciem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA. Sprawdzono czy

istnieją korelacje między analizowanymi parametrami. Istotność różnic między średnimi zweryfikowano na podstawie testu Tukeya przy $p \leq 0,05$.

II. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Badając wpływ obróbki atmosferą ozonową owoców borówki wysokiej i jabłek na wykonane z nich dżemy wykonano wielowariantową ocenę tekstury z użyciem metod mechanicznych pozwalającą na zebranie setek jednostkowych wyników parametrów fizycznych takich jak siła, droga przesunięcia, czas działania i ich pochodnych interpretowanych jako parametry tekstury (twardość, gumistość, adhezyjność, sprężystość itp.) uzupełnioną klasyczną oceną organoleptyczną oraz podstawowymi, w tym przypadku użytecznymi analizami biochemicznymi jak całkowita aktywność antyoksydacyjna (DPPH) i całkowita zawartość związków polifenolowych. Pozwoliło to zebrać materiał wynikowy liczony w setkach pojedynczych adnotacji. Poniżej podano wyniki z podziałem na poszczególne typy analiz, po przeliczeniu danych surowych z uwzględnieniem użytych objętości, masy owoców i zależności mierzonych parametrów od użytych wzorców. Opracowując otrzymane wyniki analiz laboratoryjnych starano się uzyskać odpowiedź na następujące pytania:

- a) Czy proces ozonowania surowców przed wykonaniem dżemu wpłynął na jego cechy sensoryczne, co sprawdzono w ocenie organoleptycznej (odpowiedź po analizie wariancji),
- b) Czy proces ozonowania surowców przed wykonaniem dżemu wpłynął na wartość mierzonych parametrów tekstury w poszczególnych rodzajach dżemów (odpowiedź po analizie wariancji),
- c) Czy wartość aktywności antyoksydacyjnej oraz całkowita wartość polifenoli uległa zmianie w zależności od sposobu wykonania dżemu co starano się udowodnić za pomocą analiz biochemicznych (odpowiedzi udzielono po analizie wariancji),
- d) Czy średnia wartość mierzonych parametrów różni się istotnie w zależności od sposobu przygotowania dżemu, co zweryfikowano przy pomocy testu TUKEYA,
- e) Czy wartości mierzonych parametrów w poszczególnych dżemach korelują ze sobą.

Ocena organoleptyczna

Ocena organoleptyczna dżemów borówkowych, jabłkowych oraz jabłkowo-borówkowych z surowców ozonowanych i nieozonowanych pozwoliła stwierdzić, że każda z ocenianych kategorii istotnie zależy ($p < 0,05$) od rodzaju dżemu, czyli sposobu jego przygotowania.

Intensywniejszą barwę ($p < 0,05$) wykazało dla dżemów jabłkowo-borówkowych z surowców ozonowanych w porównaniu do dżemu kontrolnego, czyli nieozonowanego (tab. 2), co sprzeczne jest ze zmianami barwy dżemu obserwowanymi podczas przechowywania [Ścibisz i in. 2011].

W ocenie zapachu, dżemy z surowców ozonowanych (jabłkowy (1 ppm) oraz borówkowy (10, 100 ppm)) posiadały bardziej intensywny zapach ($p < 0,05$) w porównaniu do dżemów kontrolnych, które stanowiły czysty dżem jabłkowy oraz czysty dżem borówkowy. Najniższą ocenę zapachu uzyskał dżem z ozonowanych surowców jabłkowo (1 ppm)-borówkowy (100 ppm), który wykazywał wyczuwalny obcy zapach.

Bardziej intensywny ($p < 0,05$) w smaku okazał się dżem borówkowy ozonowany (10ppm) w porównaniu do dżemu kontrolnego borówkowego oraz ozonowanego (100ppm). Najniżej oceniano dżem z ozonowanych surowców jabłkowo (1 ppm)-borówkowy(100 ppm), cechujący się najmniej intensywnym smakiem.

W ocenie konsystencji, najlepszy wynik uzyskały dżemy jabłkowe, kontrola oraz ozonowane i borówkowe kontrolne ($p < 0,05$).

Najlepszą smarowność, wykazano dla dżemów wykonanych z jabłek; te z udziałem borówek smarowały się gorzej niezależnie od tego, czy surowiec ozonowano (z wyjątkiem tego najsilniej ozonowanego), co jest interpretowane jako wpływ surowca, a nie badanych czynników ($p < 0,05$).

W ocenie organoleptycznej faktury, dżemy z owoców ozonowanych i nieozonowanych uzyskały zbliżone wyniki ($p>0,05$).

Tabela 2 – Table 2

Ocena organoleptyczna dżemów borówkowych z udziałem bazy jabłkowej wykonanych z owoców nie poddanych i poddanych procesowi ozonowania dawkami 1-100 ppm w czasie 0-30 min w zależności od wariantu. Podano wartość punktową w skali 1 -5 pkt. (max), przyznaną przez 10 oceniających dla ocenianych cech sensorycznych (wyróżników jakości) / *Sensory evaluation of blueberry jams with apple base made from untreated and ozonated fruit with doses of 1-100 ppm for 0-30 min depending on the variant. A point value on a scale of 1-5 points (max) was given, awarded by 10 assessors for the assessed sensory features (quality characteristics)*

Rodzaj dżemu <i>Type of Jam</i>	Kod próbki <i>Sample code</i>	Barwa <i>Colour</i>	Zapach <i>Aroma</i>	Smak <i>Taste</i>	Konsystencja <i>Consistency</i>	Faktura <i>Texture</i>	Smarowność <i>Spreadability</i>	Średnia <i>Mean</i> n=10	Średnia rodzaju dżemu <i>Mean Type of Jam</i> n=3
Jabłkowy (K) <i>Apple</i>	1j0ppm0m	5	4,6	4,9	4,8	4,5	4,5	4,7	4,7
	2j0ppm0m	5	4,5	4,5	4,8	4,9	4,5	4,7	
	3j0ppm0m	5	4,5	4,4	4,6	4,5	4,5	4,6	
Jabłkowy (1ppm) <i>Apple</i>	4j1ppm5m	5	5	4,6	4,9	4,8	4,5	4,8	4,7
	5j1ppm5m	5	5	4,4	4,4	4,4	4,6	4,6	
	6j1ppm5m	5	4,6	4,4	4,6	4,6	4,8	4,7	
Borówkowy K <i>Blueberry</i>	7b0ppm0m	5	4,6	4,6	4,4	4,6	3,4	4,4	4,5
	8b0ppm0m	5	4,6	4,6	4,5	4,5	3,6	4,5	
	9b0ppm0m	5	4,6	4,5	4,6	4,4	3,6	4,5	
Borówkowy 10ppm <i>Blueberry</i>	10b10ppm30m	5	4,5	4,8	4,3	4,3	3,5	4,4	4,4
	11b10ppm30m	5	4,5	4,8	4,0	4,1	3,6	4,3	
	12b10ppm30m	5	4,8	4,9	4,4	4,6	3,5	4,5	
Borówkowy 100ppm <i>Blueberry</i>	13b100ppm30m	5	4,8	4,6	3,8	4,3	3,5	4,3	4,3
	14b100ppm30m	5	4,6	4,8	4,1	4,0	3,6	4,4	
	15b100ppm30m	5	4,5	4,6	4,3	4,1	3,6	4,4	
Jabłkowo-borówkowy K <i>Apple-Blueberry</i>	16jb0ppm0m	4,5	4,9	4,4	3,9	4,6	3,8	4,4	4,4
	17jb0ppm0m	4,3	4,5	4,5	4,3	4,6	4,3	4,4	
	18jb0ppm0m	4,4	4,6	4,5	4,4	4,4	4,3	4,4	
Jabłkowo (1ppm)-borówkowy (10ppm) <i>Apple-Blueberry</i>	19jb1,10ppm5,30m	4,8	4,4	4,6	4,4	4,4	4,3	4,4	4,6
	20jb1,10ppm5,30m	4,7	4,5	4,6	4,5	4,5	4,6	4,6	
	21jb1,10ppm5,30m	4,7	4,8	4,5	4,4	4,9	4,4	4,6	
Jabłkowo (1ppm)-borówkowy (100ppm) <i>Apple-Blueberry</i>	22jb1,100ppm5,30m	4,7	4,1	3,8	3,9	4,3	4,0	4,1	4,1
	23jb1,100ppm5,30m	4,5	4,1	4,0	3,6	4,0	4,0	4,0	
	24jb1,100ppm5,30m	4,7	3,9	4,0	3,6	4,0	3,8	4,0	

Ogólna ocena (uśredniona wartość wszystkich wyróżników jakości) wykazała, iż najlepszym dżemem okazały się: dżem jabłkowy kontrola, ozonowany (1 ppm) oraz jabłkowo(1 ppm)-borówkowy(10 ppm). Podane wyniki wykazują różnice istotne statystycznie.

Według Pandiselvam i in. [2020] ozonowanie nie wpływa w sposób negatywny na zmianę koloru oraz tekstury użytego surowca. Jednak przedstawione w niniejszej pracy wyniki potwierdzają to tylko częściowo w odniesieniu do niskich dawek użytego ozonu. Dżem

wykonany z surowca traktowanego wysoką dawką ozonu (100 ppm dla borówek) charakteryzuje się najniższymi wartościami ocenianych kategorii, łącznie z wyczuwalną obecnością zapachu obcego mimo znanej względnej odporności owoców jagodowych takich jak np. borówki na obróbkę ozonem [Tekile i in. 2017, Chwaszcz i in. 2015]. Takiej odporności na działanie ozonu nie wykazują owoce jabłka, co dyktowało też dobór niskich stężeń ozonu (tylko 1 ppm) użytych do obróbki tego surowca.

Podsumowując, przeprowadzona ocena organoleptyczna wykazała, iż wszystkie badane dzemy odznaczały się dobrą jakością osiągając średnią ocen min. 4,0 pkt (tab. 3). Wszystkie oceniane cechy sensoryczne dżemów (barwa, zapach, smak, konsystencja, smarowność, faktura) wykazywały różnicę istotną statystycznie, w zależności od ich rodzaju. Wskazuje na to, że proces ozonowania owoców borówki wysokiej oraz jabłek, wpływa w istotny sposób na ocenę organoleptyczną. Wszystkie dzemy wykazywały pożądaną barwę, zapach, smak, konsystencję, smarowność oraz fakturę, nie posiadały obcego smaku, zapachu oraz widocznych śladów błędnie wykonanego procesu przetwórczego.

Wiadome jest, że powodzenie podczas użycia ozonu w postaci rozpuszczonej w wodzie oraz w postaci gazu podyktowane jest działaniem uwolnionych rodników hydroksylowych będących aktywnym czynnikiem procesu ozonowania [Tekile i in. 2017, Chwaszcz i in. 2015], więc charakter procesu ozonowania determinowany jest skutkami pozytywnymi i niepożądanymi reakcji z tymi bardzo aktywnymi indywiduami.

Pomiar tekstury

Metody instrumentalne w ocenie tekstury, oparte są na pomiarze zależności między wielkościami fizycznymi oraz siłą-odkształceniem a czasem [Horabik 2013, Zdunek 2008]. Jednym z często używanych sposobów praktycznego pomiaru tych zależności jest użycie zdefiniowanych przez producenta urządzeń wytrzymałościowych algorytmów w postaci programów do testów TPA, które ułatwiają, przyspieszają i umożliwiają powtarzalność warunków pomiaru [Dolik i Kubiak 2013]. Uzyskane wielkości mierzone, zarówno podstawowe jak siła, jak i pochodne, jak gumistość, adhezyjność, mogą być w łatwy sposób wybierane do analizy czy porównywane [Kubiak i Dolik 2022, Piechowiak i in. 2022]. Poniżej opracowano wybrane do charakterystyki dżemów parametry tekstury uzyskane podczas testów TPA wykonanych z użyciem różnych przystawek (ekstruzja współbieżna, ekstruzja przeciwbieżna, zagłębienie).

Proces zagłębienia

Analiza parametrów tekstury mierzonych podczas procesu zagłębienia tj. twardość, praca ściskania, siła niszcząca itp. dla różnych rodzajów dżemu wykazała, że zależą one w istotny sposób ($p < 0,05$) od rodzaju dżemu, co wykazano przy użyciu analizy wariancji. Wyodrębnić można grupę dżemów borówkowych o dominujących wartościach większości parametrów, szczególnie twardość, pracę ściskania, gumistość, co wyróżnia je od dżemów wykonanych z udziałem jabłek. Najbardziej oczywistą przyczyną tego stanu rzeczy jest wpływ surowca, znacznie bardziej zwartego w przypadku owoców borówki niż jabłek, przy czym z punktu widzenia celu pracy zależność ta, nie jest istotna. Interesujące jest natomiast porównanie wartości mierzonych parametrów między produktami (dżemami) wykonanymi z owoców nieozonowanych i ozonowanych. Z tego punktu widzenia różnice istotne także występują, ale nie zawsze w sposób oczywisty i tak, obróbka ozonem owoców borówki wpływa na obniżenie twardości, pracy ściskania i gumistości w sposób istotny w przypadku dżemów borówkowych oraz w sposób nieistotny w przypadku dżemów jabłkowych. Tendencji tej, nie można zauważyć w sposób jednoznaczny dla dżemów mieszanych.

Proces ekstruzji współbieżnej i przeciwbieżnej

Wartości parametrów tekstury mierzone w procesach parametrów ekstruzji przeciwbieżnej i współbieżnej uwidaczniają, podobnie jak w przypadku procesu zagłębienia wyodrębnioną grupę

dżemów borówkowych dla których mierzone wartości są istotnie wyższe ($p < 0,05$) ale nie w każdym przypadku, sugerując wpływ rodzaju owocu na twardość dżemów. Porównanie wartości mierzonych parametrów dla dżemów wykonanych z surowca kontrolnego i ozonowanego nie daje jednoznacznych wyników, natomiast wskazuje na wyższe parametry dżemów wykonanych z surowca poddanego obróbce ozonu. Dżemy borówkowe wykonane z surowca ozonowanego względem kontroli, odznaczają się istotnie wyższą twardością, siłą niszczącą, pracą ściskania w obydwu rodzajach ekstruzji, a także wyższą sprężystością i gumistością w przypadku ekstruzji przeciwbieżnej, chociaż tutaj występują duże rozrzuty wyników.

W przypadku dżemów jabłkowych nie widać istotnego wpływu ozonowania surowca w żadnym z mierzonych parametrów. W przypadku dżemów mieszanych wyniki są niejednorodne ze wskazaniem na wyższe parametry dżemów wykonanych z surowców ozonowanych.

Analiza statystyczna otrzymanych wartości parametrów tekstury dla poszczególnych rodzajów dżemu pozwoliła wyznaczyć wiele korelacji pomiędzy analizowanymi parametrami a także w stosunku do innych rodzajów analiz jak: biochemiczne czy ocena organoleptyczna, co jest podobnym spostrzeżeniem jak u innych autorów [Banaś i in. 2018, Mazur i in. 2015]. Najciekawsze z tych porównań dotyczy dżemów wykonanych z użyciem obróbki dużą dawką ozonu, których parametry tekstury korelowały ($p < 0,05$) w sposób ujemny z oceną organoleptyczną czyli dżemy ocenione organoleptycznie gorzej, miały wyższe parametry tekstury.

Podsumowując, poza oczywistym i nieanalizowanym w niniejszej pracy wpływem rodzaju surowca na wartość mierzonych parametrów tekstury, stwierdzić należy, że obróbka ozonem owoców borówki i jabłek przed wykonaniem z nich dżemu wpływa na produkt gotowy, ze wskazaniem na podniesienie twardości i wielkości pochodnych.

Aktywność antyoksydacyjna

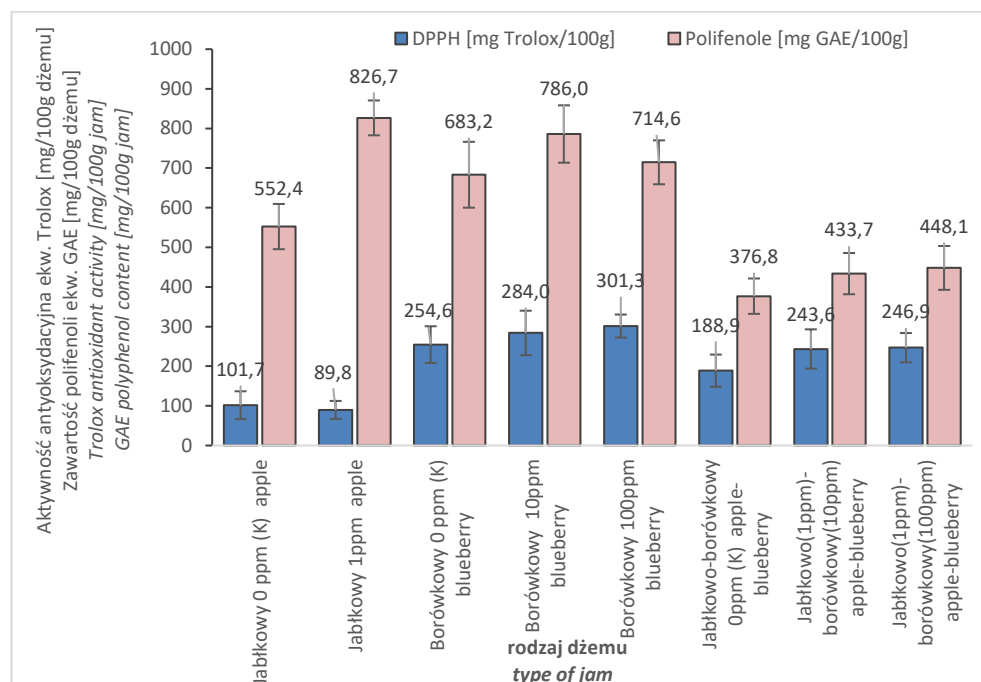
Podczas badania aktywności antyoksydacyjnej metodą DPPH, różnice wykazano w dżemach borówkowych, oraz jabłkowo-borówkowych, gdzie próbki kontrolne (nieozonowane) posiadały mniejszą wartość: dla dżemu borówkowego – $254,64 \pm 46,24$ mg Trolox/100 g oraz jabłkowo-borówkowego – $188,85 \pm 40,59$ mg Trolox/100 g w porównaniu z dżemami ozonowanymi: dla borówkowego (10ppm) $283,98 \pm 56,19$ mg Trolox/100 g; (100 ppm) – $301,34 \pm 29,12$ mg Trolox/100 g; dla jabłkowo (1 ppm) – borówkowego (10 ppm) – $243,56 \pm 49,58$ mg Trolox/100 g; jabłkowo (1 ppm) – borówkowego (100 ppm) – $246,85 \pm 36,89$ mg Trolox/100 g. Zaobserwowano, że dżemy wykonane z owoców ozonowanych, posiadały większą zawartość antyoksydantów w porównaniu z dżemami z owoców nieozonowanych. Dodatkowo zauważono, że próbki zawierające owoce jagodowe, posiadały wyższą aktywność antyoksydacyjną.

Podsumowując, najwyższą aktywność antyoksydacyjną dostrzeżono w dżemie z owoców borówki ozonowanych 100ppm – $246,85$ mg Trolox/100g. Porównując do dżemu z owoców borówki nieozonowanych $254,64$ mg Trolox/100g. Najniższą aktywność wykazał dżem z jabłek ozonowanych 1 ppm który wyniósł $89,82$ mg Trolox/100g.

Dżemy borówkowe oraz jabłkowo-borówkowe w sposób istotny ($p < 0,05$) różniły się w porównaniu do czystych dżemów jabłkowych. Owoce borówki wysokiej są owocami, zawierającymi znacznie wyższą aktywność antyoksydacyjną w porównaniu do jabłek [Scibisz i Mitek 2006]. Dodatkowo, ozonowanie pozytywnie wpłynęło na jej zawartość w dżemach borówkowych i jabłkowo-borówkowych, zaś negatywnie w dżemach jabłkowych (ryc. 1).

Według różnych autorów, ozon wpływa na zwiększenie aktywności antyoksydacyjnej owoców borówki wysokiej [Piechowiak i in. 2020]. Według Prior i in. [1998], aktywność antyoksydacyjna owoców borówki amerykańskiej wahała się od $17-43$ μmol Troloxu/g, zaś Kalt i in. [1999] podają wyższe wartości, wynoszące nawet do $60,1$ μmol Troloxu/g. Donoszony wzrost aktywności antyoksydacyjnej interpretowany jest jako skutek indukcji mechanizmów antyoksydacyjnych w aktywnych biochemicznie, czyli żywych komórkach owoców [Scibisz

i Mitek 2005, Ścibisz i in. 2010]. Spodziewając się indukcji ozonem aktywności antyoksydacyjnej owoców, liczono na przeniesienie jej do produktu końcowego, ale przy nie pogorszonych jego cechach jakościowych, co osiągnięto.



Ryc. 1. Aktywność antyoksydacyjna i zawartość polifenoli dżemów borówkowych z udziałem bazy jabłkowej wykonanych z owoców nie poddanych i poddanych procesowi ozonowania dawkami 1-100 ppm w czasie 0-30 min. Aktywność antyoksydacyjna wyrażono jako ekwiwalent Troloxu zdolnego wyłumaczyć aktywność rodników DPPH [mg Trolox/100 g] oraz zawartość polifenoli w produkcie jako ekwiwalent GAE [mg GAE/100 g]. Podano wartości średnie \pm SD dla $n=9$

Fig. 1. Antioxidant activity and polyphenol content of blueberry jams with apple base made from untreated and ozonated fruit with doses of 1-100 ppm for 0-30 min. Antioxidant activity was expressed as Trolox equivalent capable of suppressing the activity of DPPH radicals [mg Trolox/100 g] and polyphenol content in the product as GAE equivalent [mg GAE/100 g]. Mean values \pm SD for $n=9$ were given

Zawartość polifenoli

Podczas oceny całkowitej zawartości polifenoli, zaobserwowano również – tak jak w przypadku antyoksydantów, istotnie większą zawartość związków polifenolowych w dżemach z owoców ozonowanych, gdzie jabłkowy kontrola wynosiła $552,4 \pm 57,09$ mg GAE/100 g zaś ozonowany (1 ppm) $826,7 \pm 44,01$ mg GAE/100 g. W przypadku dżemów borówkowych kontrola wykazała zawartość $683,2 \pm 83,07$ mg GAE/100 g, ozonowany (10 ppm) – $786 \pm 72,38$ mg GAE/100 g, (100 ppm) – $714,6 \pm 55,44$ mg GAE/100 g. W dżemach jabłkowo-borówkowych kontrola wyniosła $376,8 \pm 44,59$ mg GAE/100 g, jabłkowo (1 ppm) - borówkowym(10 ppm)- $433,7 \pm 52,02$ mg GAE/100 g oraz jabłkowo (1 ppm)-borówkowym (100 ppm) – $448,2 \pm 55,31$ mg GAE/100 g.

Wpływ procesu ozonowania na produkt gotowy uwidocznił się tylko w przypadku czystego dżemu jabłkowego, gdzie ozonowanie surowca (jabłek) powoduje otrzymanie dżemu o istotnie wyższych zawartościach polifenoli- $826,7$ mg GAE/100g niż w przypadku braku ozonowania- $552,4$ mg GAE/100g. Nie zauważono wpływu ozonowania owoców na dżemy

wykonane z borówek oraz na dżemy mieszane jabłkowo – borówkowe, mimo, że te ostatnie miały istotnie niższe poziomy zawartości polifenoli.

Według [Gorzelany i in. 2022; Zapałowska i in. 2021] zawartość polifenoli można znacznie obniżyć poprzez zbyt długą ekspozycję ozonu na owoce, jednak odpowiednie krótkotrwałe ozonowanie przyczynia się do zachowania analitów [Gorzelany i in. 2022, Ścibisz i Mitek 2005]. W naszych doświadczeniach nie zauważono tej niekorzystnej tendencji.

V. PODSUMOWANIE

Porównanie dżemów przygotowanych z owoców borówki i jabłek poddanych procesowi ozonowania atmosferą ozonową o stężeniach 1 ppm w czasie 5 minut dla jabłek oraz 10 i 100 ppm dla owoców borówki w czasie 30 minut, wykazało, że:

1) Ozonowanie owoców borówki wysokiej i jabłek nie ma istotnego wpływu na cechy sensoryczne wykonanych z nich dżemów, z wyjątkiem użycia najwyższej dawki ozonu (100 ppm).

2) Ozonowanie owoców borówki wysokiej i jabłek wpływa w sposób istotny, ale co do kierunku niejednoznaczny i zależy od mierzonego parametru na teksturę wyznaczoną z użyciem standardowego testu TPA (twardość, siła niszcząca, praca ściskania, adhezijność, sprężystość, gumiałość), ze wskazaniem na podniesienie twardości i wielkości pochodnych.

3) Ozonowanie owoców borówki wysokiej i jabłek wpływa w sposób istotny na aktywność antyoksydacyjną dżemów borówkowych oraz zawartość polifenoli dżemów jabłkowych.

4) Oceniane parametry sensoryczne i tekstury oraz aktywność antyoksydacyjna i zawartość polifenoli w gotowych dżemach, w istotny sposób zależą od rodzaju użytego owocu.

BIBLIOGRAFIA

1. Bakuła T. 2013. Ozon i jego mechanizm działania. Materiały konferencji szkoleniowej Alternatywne metody w bioasekuracji Uniwersytet Warmińsko- Mazurski. Olsztyn.
2. Balawejder M., Antos P., Bilek M., Chwaszcz B., Józefczyk R., Skrobacz K., Kosowski P. 2016. Zastosowanie atmosfery wzbogaconej ozonem w celu podniesienia trwałości przechowalniczej borówki amerykańskiej (*Vaccinium corymbosum* L.) w temperaturze pokojowej. w: Rolnictwo XXI wieku – problemy i wyzwania. Idea Knowledge Future. 7-17.
3. Banaś A., Korus A., Korus J. 2018. The influence of storage conditions on texture parameters and sensory quality of sour cherry jams with various plant additives. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość.* 25. 3 (116). 100-115.
4. Chwaszcz B., Józefczyk R., Bilek M., Balawejder M. 2015. Ozonowanie jako metoda przedłużania trwałości przechowalniczej owoców maliny w warunkach nie chłodniczych. w: Technologiczne kształtowanie jakości żywności. Wydawnictwo Naukowe PTTŻ. 15-26.
5. Dolik K., Kubiak M. 2013. Instrumentalny test analizy profilu tekstury w badaniu jakości wybranych produktów spożywczych. *Nauki Inżynierskie i Technologie.* 3 (10). 35-44.
6. Gorzelany J., Patyna M., Pluta S., Kapusta I., Balawejder M., Belcar J. 2022. The Effect of the Addition of Ozonated and Non- Ozonated Fruits of the Saskatoon Berry (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) on the Quality and Pro- Healthy Profile of Craft Wheat Beers. *Molecules.* 27(14). 4544.
7. Horabik J. 2013. Stan badań z zakresu właściwości fizycznych surowców roślinnych w aspekcie ich przetwarzania. w: Współczesna inżynieria rolnicza – osiągnięcia i nowe wyzwania (red. R. Hołownicki, M. Kuboń). Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej. Kraków. t. III. 127-150.
8. Kalt W., Forney C. F., Martin A., Prior R. L. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *J. Agric. Food Chem.* 47. 4638-4644.

9. Kostecka J., Podolak A., Garczyńska M., Mazur-Pączka A., Pączka G. 2023. Developing the competences of future waste management engineers. *J. of Ecol. Eng.* 24 (4). 333-342.
10. Krosowiak K., Śmigieński L., Dziugan P. 2007. Zastosowanie ozonu w przemyśle spożywczym. *Przemysł Spożywczy*. 11. 26-29.
11. Kubiak M., Dolik K. 2013. Instrumentalny test analizy profilu tekstury w badaniu jakości wybranych produktów spożywczych. *Nauki Inżynierskie i Technologiczne*. 3 (10). 35-44.
12. Mazur J., Sobczak P., Zawisłak K., Panasiewicz M., Kobus Z., Andrejko D., Żukiewicz-Sobczak W. 2015. Korelacja wyznaczników profilowej analizy tekstury (TPA) kwasowych serów twarogowych z jego podstawowym składem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 582. 23-33.
13. Michalski P. 2016. Innowacyjne rozwiązania wpływające na pozbiorną trwałość owoców. *Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu*. 166-174.
14. Pandiselvam R., Kaavya R., Jayanath Y., Veenutranon K., Lueprasitsakul P., Divya V., Kothakota A., Ramesh S.V. 2020. Ozone as a novel emerging technology for the dissipation of pesticide residues in foods – a review. *Trends in Food Science and Technology*. 97. 38-54.
15. Piechowiak T., Migut D., Józefczyk R., Balawejder M. 2022. Ozone Treatment Improves the Texture of Strawberry Fruit during Storage. *Antioxidants*. 11 (5). 821.
16. Piechowiak T., Skóra B., Balawejder M. 2020. Ozone Treatment Induces Changes in Antioxidative Defense System in Blueberry Fruit During Storage. *Food Bioprocess Technol.* 13. 1240-1245.
17. Prior R. L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeld M., Kalt W., Krewer G., Mainland C. M. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolics and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium species*. *J. Agric. Food Chem.* 46. 2686-2693.
18. Ścibisz I., Gasik A., Mitek M., Cendrowski A. 2011. Wpływ warunków przechowywania na barwę dżemów z owoców kolorowych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 1 (74). 99-111.
19. Ścibisz I., Kalisz S., Mitek M. 2010. Termiczna degradacja antocyjanów owoców borówki wysokiej. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 5 (72). 56-66.
20. Ścibisz I., Mitek M. 2005. Aktywność przeciwutleniająca i zawartość związków fenolowych w dżemach otrzymanych z owoców borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.) oraz ich zmiany podczas przechowywania. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2 (43). 210-221.
21. Ścibisz I., Mitek M. 2006. Aktywność przeciwutleniająca i zawartość związków fenolowych w suszach z owoców borówki wysokiej *Vaccinium corymbosum* L. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 4 (49). 68-76.
22. Tekile A., Kim I., Lee J.-Y. 2017. Applications of ozone micro- and nanobubble technologies in water and wastewater treatment: review. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*. 31 (6). 481-490.
23. Zapałowska A., Matłok N., Zardzewiały M., Piechowiak T., Balawejder M. 2021. Effect of Ozone Treatment on the Quality of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *Plants*. 10 (5). 847.
24. Zdunek A. 2008. Instrumental method based on acoustic emission for evaluation of selected texture attributes of apples. *Acta Agrophisica*. 1(155). 1-98.
25. Ziarno M., Zareba D. 2015. Wykorzystanie ozonu do niszczenia mikroorganizmów. *Przemysł Spożywczy*. 6. 15-18.

IMPACT OF OZONATION PROCESS ON THE TEXTURE PARAMETERS, ANTIOXIDANT ACTIVITY AND ORGANO-LEPTIC PROPERTIES OF HIGHBUSH BLUEBERRY AND APPLE JAMS

Summary

The comparison of jams prepared from blueberry fruit and apples subjected to the ozonation process with the ozone atmosphere concentrated from 1 ppm during 5 minutes for apples as well as from 10 and 100 ppm for blueberry fruits during 30 minutes showed the below observations:

1) Prior ozonation of highbush blueberries and apples has no significant effect on the sensory properties of the prepared jams except when using the highest dose of ozone (100 ppm).

2) Prior ozonation of blueberry and apple fruits has a significant, but ambiguous and dependent on the measured parameter, effect on the texture determined using the standard TPA test (hardness, destructive force, compressive work, adhesiveness, elasticity, gumminess), with the indication to increase the hardness and size of derivatives.

3) Prior ozonation of blueberry fruit and apples significantly contributes to the antioxidant activity of blueberry jams and the content of polyphenols in apple jams.

4) The assessed sensory parameters and textures as well as antioxidant activity and polyphenol content in ready-made jams greatly depend on the sort of fruit used.

Blueberry and apple fruits were treated with mixed air and ozone at the same. Ozone was generated by corona discharges at concentrations of 1, 10 and 100 ppm for 5 minutes on apples constituting as a major batch and 30 minutes on blueberries as the main input material. The jams were subjected to organoleptic evaluation on the basis of selected sensory characteristics such as: colour, aroma, taste, consistency, spreadability, texture. The texture of the jam was assessed with the following parameters: hardness, destructive force, compressive work, adhesiveness, elasticity, gumminess. Moreover, there were also conducted biochemical analyzes of antioxidant activity using the DPPH method (as the equivalent of Trolox per 100 g of fruit) and the amount of polyphenols using the Folin-Ciocalteu method as the equivalent of gallic acid (mg of GAE per 100 g of fruit).

Keywords: ozone, jam, highbush blueberry, antioxidant activity, texture