

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

**Skuteczność innowacyjnych
technik obróbki soków warzywnych**

Agnieszka Starek

M o n o g r a f i a

Kraków 2019

Patronat naukowy: Komitet Inżynierii Rolniczej

Komitety honorowy

Prof. dr hab. Janusz Haman – czł. rzecz. PAN

Prof. dr hab. Rudolf Michałek – czł. rzecz. PAN

Rada Naukowa Wydawnictwa

Prof. Radomir Adamovsky (Rep. Czeska)

Prof. Andrew Berger (USA)

Prof. Stefan Cenkowski (Kanada)

Prof. Dariusz Dziki (Polska)

Prof. Girma Gebresenbet (Szwecja)

Prof. Van der Goot, Atze Jan (Holandia)

Prof. Dorota Haman (USA)

Prof. Jayson K. Harper (USA)

Doc Ing. Zuzana Hlaváčová, CSc. (Słowacja)

Prof. Ryszard Hołownicki (Polska)

Dr ing. Bruno Huyghebaert (Belgia)

Prof. Leon Kukielka (Polska)

Prof. Marek Opielak (Polska)

Prof. Jacek Przybył (Polska)

Prof. Michele Rinaldi (Włochy)

Prof. Spiro E Stefanou (USA)

Dr Bernardo Strasbourg (Brazylia)

Prof. Bulgakov Vlodymyr (Ukraina)

Komitet Redakcyjny

Prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń

– redaktor naczelny

Dr hab. inż. Sławomir Kocira, prof. UP

– sekretarz

Prof. dr hab. Pavol Findura

Prof. dr hab. Leon Kukielka

Wydawca:

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, ul. Balicka 116B

Recenzenci:

Prof. dr hab. Adam Figiel

– Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Dr hab. inż. Jolanta Piekut

– Politechnika Białostocka

ISBN 978-83-64377-30-3

Druk i oprawa:

NOVA SANDEC

ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz

tel. +48 (18) 547 45 45

e-mail: biuro@novasandec.pl; <http://www.novasandec.pl>

Ark. wyd. 7,50 ; ark. druk. 5,75

Nakład: 100 egz.

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	5
1. WSTĘP	6
2. PRZEGLĄD LITERATURY	9
2.1. Charakterystyka oraz zastosowanie wybranych procesów utrwalania w przetwórstwie owoców i warzyw	9
2.2. Właściwości biologiczne soku z pomidora	14
3. CEL PRACY	16
4. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ	17
4.1. Materiał doświadczalny i jego przygotowanie	17
4.2. Metodyka przeprowadzania obróbki soku pomidorowego.....	17
4.2.1. Pasteryzacja.....	17
4.2.2. Sonikacja.....	17
4.2.3. Zimna plazma atmosferyczna	19
4.3. Metodyka badań mikrobiologicznych	21
4.4. Metodyka oznaczania właściwości fizykochemicznych soku pomidoro- wego	21
4.4.1. Oznaczanie suchej substancji.....	21
4.4.2. Oznaczanie kwasowości	21
4.4.3. Oznaczanie zawartości substancji rozpuszczalnych.....	22
4.4.4. Oznaczanie całkowitej zawartości karotenoidów i likopenu.....	22
4.4.5. Oznaczanie zawartości kwasu askorbinowego.....	22
4.5. Analiza mikroskopowa.....	22
4.6. Analiza statystyczna	22
5. WYNIKI BADAŃ	23
5.1. Wyniki badań mikrobiologicznych	23
5.1.1. Wyniki badań mikrobiologicznych soku pomidorowego poddane- go pasteryzacji	24
5.1.2. Wyniki badań mikrobiologicznych soku poddanego sonikacji.....	30
5.1.3. Wyniki badań mikrobiologicznych soku poddanego działaniu zim- nej plazmy.....	37
5.2. Charakterystyka właściwości fizykochemicznych	46
5.2.1. Właściwości fizykochemiczne pasteryzowanego soku pomidoro- wego.....	47
5.2.2. Właściwości fizykochemiczne sonikowanego soku pomidorowego.	55

5.2.3. Właściwości fizykochemiczne soku pomidorowego poddanego działaniu zimnej plazmy	62
5.3. Analiza mikrostruktury soku pomidorowego	75
6. PODSUMOWANIE	82
7. LITERATURA	84
SPIS RYSUNKÓW I TABEL.....	96
STRESZCZENIE	101
ABSTRACT	102

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

<i>U</i>	– napięcie (ang. <i>voltage</i>) (kV)
<i>f</i>	– częstotliwość (ang. <i>frequency</i>) (kHz)
<i>I</i>	– natężenie ultradźwięków (ang. <i>intensity of ultrasounds</i>) ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)
<i>E</i>	– energia (ang. <i>energy</i>) (J)
<i>t</i>	– czas obróbki soku (ang. <i>processing time of juice</i>) (s)
<i>T</i>	– temperatura soku po obróbce (ang. <i>temperature of the juice after processing</i>) ($^{\circ}\text{C}$)
<i>h</i>	– głębokość zanurzenia sondy sonifikatora w próbce (ang. <i>immersion depth of the sonicator probe in the sample</i>) (mm)
<i>Tp</i>	– czas przechowywania (ang. <i>storage time</i>) (dni)
<i>s.s.</i>	– sucha substancja (ang. <i>dry matter</i>) (%)
<i>Kw</i>	– kwasowość (ang. <i>acidity</i>) (pH)
<i>Zsc</i>	– zawartość substancji rozpuszczalnych (ang. <i>content of soluble solids</i>) ($^{\circ}\text{Bx}$)
<i>Kar</i>	– ogólna zawartość karotenoidów (ang. <i>total content of carotenoids</i>) ($\text{mg}\cdot 100^{-1}$ g s.s.)
<i>Lik</i>	– zawartość likopenu (ang. <i>content of lycopene</i>) ($\text{mg}\cdot 100^{-1}$ g s.s.)
<i>KA</i>	– zawartość kwasu askorbinowego (ang. <i>ascorbic acid content</i>) ($\text{mg}\cdot 100^{-1}$ g s.s.)
AIJN	– kodeks Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Soków (ang. <i>European Fruit Juice Association</i>)
<i>HPP</i>	– wysokie ciśnienia hydrostatyczne (ang. <i>High Pressure Processing</i>)
<i>PEF</i>	– pulsacyjne pole elektryczne (ang. <i>Pulsed Electric Field</i>)
<i>CAP</i>	– zimna plazma atmosferyczna (ang. <i>Cold Atmospheric Plasma</i>)
<i>RONs</i>	– reaktywne formy tlenu i azotu (ang. <i>Reactive Oxygen and Nitrogen Species</i>)
BHT	– butylohydroksytoluen (ang. <i>Butylated hydroxytoluene</i>)

1. WSTĘP

Od początku lat 90-tych w Polsce obserwowany jest dynamiczny rozwój rynku soków owocowych oraz warzywnych. Uwarunkowane to jest wzrostem świadomości polskiego konsumenta na temat znaczenia codziennej diety w zachowaniu zdrowia i dobrego samopoczucia. Produkty te stanowią bowiem źródło cennych i niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu składników, takich jak: witaminy, sole mineralne, błonnik pokarmowy, związki flawonoidowe, fitoestrogeny, pektyny, łatwo przyswajalne cukry i kwasy organiczne (Gwóźdź i Gębczyński, 2015; Rampersaud i Valim, 2017; Siddiq i Uebersax, 2018).

Soki definiowane są jako w pełni naturalne produkty, otrzymywane wyłącznie z dojrzałych, świeżych, mrożonych lub przechowywanych owoców i warzyw. Pozyskuje się je poprzez tłoczenie soku z miazgi lub mechaniczne przetarcie surowców.

Dostępne na rynku produkty są najczęściej pasteryzowane, w celu wydłużenia ich przydatności do spożycia przez zniszczenie drobnoustrojów i enzymów, które pozostawione w soku, prowadzą do jego psucia. Niestety zastosowana obróbka cieplna wpływa negatywnie na zawartość związków biologicznie czynnych w sokach owocowych i warzywnych (spadek zawartości cukrów ogółem, witamin, polifenoli). Dodatkowo, przetrwalnikujące bakterie *Alicyclobacillus acidoterrestris* (AAT) charakteryzują się zdolnością przeżywania w typowych warunkach pasteryzacji tego typu wyrobów (Sokołowska, 2014; Dobson i in., 2017; Tchuente i in., 2018).

Obecnie produktem Premium na rynku spożywczym są soki jednodniowe, inaczej nazywane świeżymi lub surowymi. Surowcami do produkcji tych soków mogą być warzywa (marchew, seler, buraki, pomidory, kapusta kiszona) oraz owoce (jabłka, gruszki, pomarańcze, mandarynki, grejpfruty, ananasy). Produkty te nie są poddawane obróbce enzymatycznej, klarowaniu i filtrowaniu oraz pasteryzacji. Nie stosuje się także dodatku substancji konserwujących. Dzięki temu, soki jednodniowe, zaliczane do soków NFC (*Not From Concentrate*), zawierają substancje prozdrowotne, takie jak: polifenole, antyoksydanty czy zwiększoną zawartość witaminy C, które zmniejszają ryzyko zachorowań na choroby cywilizacyjne (Matthews, 2006; Czapski, 2007; Artes i Allende, 2015; Stankiewicz i Wiczorkiewicz, 2017).

Jednak ze względu na brak obróbki cieplnej soki te muszą być przewożone i przechowywane w warunkach chłodniczych (2-6°C), a ich trwałość wynosi tylko jeden dzień.

Wynika z tego, iż istotnym problemem dla producentów tej branży może być pojawiający się brak stabilności mikrobiologicznej takich wyrobów w czasie dłuższego przechowywania, objawiający się nie tylko niekorzystnymi zmianami organoleptycznymi i sensorycznymi, ale co najważniejsze brakiem bezpieczeństwa mikrobiologicznego dla konsumenta.

Soki niepasteryzowane ze względu na niewielki stopień przetworzenia stanowią rezeruar naturalnej mikroflory, a także mogą być nośnikami niepożądanych drobnoustrojów patogennych.

Do zanieczyszczenia mikrobiologicznego dochodzi już na etapie uprawy surowca, gdzie owoce oraz warzywa narażone są na zakażenie pochodzące z gleby, wody, a nawet powietrza (Szwejd i Czapski, 2007; Nowicka i in., 2014; Jeantet i in., 2016; Żywica i in., 2017). Udowodniono, że źródłem patogenów w wielu przypadkach jest nawóz naturalny, coraz

częściej stosowany w uprawie owoców i warzyw w gospodarstwach ekologicznych (Libudzisz i Kowal, 2000; Dyśko i in., 2014; Grzegorzczak i in., 2015; Skowron i in., 2015). Pomimo stosowanych systemów zapewnienia bezpieczeństwa żywności, na świecie wciąż odnotowywane są przypadki zatruc spowodowanych spożywaniem zanieczyszczonych mikrobiologicznie soków (Vasavada, 2003; Matthews, 2006; Centers for Disease Control and Prevention, 2011; Aneja i in., 2014; Główny Inspektorat Sanitarny, 2015).

W produktach tych bytują głównie mikroorganizmy zdolne do wzrostu przy niskich wartościach pH. W sokach niepasteryzowanych rozwijają się przede wszystkim drożdże i pleśnie. Drobnoustroje niechorobotwórcze, jeśli rozwiną się w dużej ilości, powodują głównie zmiany smakowo-zapachowe soku, a w końcu jego całkowite zepsucie. Największe zagrożenie dla zdrowia konsumenta stanowią jednak drobnoustroje chorobotwórcze. Warto podkreślić, że w wielu przypadkach ich obecność nie wpływa negatywnie na cechy organoleptyczne produktu. Do patogenów przenoszonych w sokach zaliczają się między innymi: niektóre serotypy *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* oraz pierwotniak jelitowy *Cryptosporidium*.

Zgodnie z danymi ECDC (*European Centre for Disease Prevention and Control*) oraz EFSA (*European Food Safety Authority*) soki znajdują się na liście najczęstszych źródeł chorób przenoszonych drogą pokarmową człowieka. Od kilku lat odnotowuje się trend wzrostowy w całej Unii Europejskiej zakażenia werotoksycznymi pałeczkami *Escherichia coli* (Centers for Disease Control and Prevention, 2011). Problemem są także zakażenia pokarmowe wywołane przez pałeczki *Salmonella* (rezerwuarem tych bakterii jest głównie niepasteryzowany sok pomarańczowy). Ze względu na specyficzne cechy wzrostu, szczególnie niebezpieczna dla osób o obniżonym układzie odpornościowym, jest również obecność pałeczek *Listeria monocytogenes* (bakterii zdolnej do wzrostu i namnażania w warunkach chłodniczych) (Kunicka, 2004; Bevilacqua i in., 2011; Sokołowska i in., 2011; Jaroszevska i in., 2014; Nowicka i in., 2014; Oliveira i in., 2014; Trzaskowska i in., 2014; Krusch i in., 2016).

Ważnym więc staje się poszukiwanie nowych metod obróbki świeżo tłoczonych soków owocowych czy warzywnych, umożliwiających uzyskanie produktu czystego mikrobiologicznie o wydłużonym terminie przydatności do spożycia, charakteryzującego się wszystkimi niezbędnymi wartościami odżywczymi potrzebnymi do prawidłowego funkcjonowania organizmu konsumenta.

Interesującą alternatywę wobec obecnie stosowanych metod przetwarzania żywności stanowi plazma, będąca czwartym stanem skupienia materii. Wśród wielu podziałów w obszarze plazmy można wyróżnić podział na plazmę generowaną pod ciśnieniem atmosferycznym (plazmę atmosferyczną) oraz generowaną pod obniżonym ciśnieniem. Każdy rodzaj plazmy może być generowany podczas wyładowań elektrycznych, z wykorzystaniem różnego rodzaju gazów procesowych, np. azotu, tlenu, helu lub mieszaniny gazowej, np. powietrza.

Kolejnym podziałem jest podział na plazmę termiczną, w której wszystkie składniki plazmy posiadają taką samą wysoką temperaturę oraz nietermiczną (nierównowagową), w której wyróżniamy gorące elektrony oraz pozostałe składniki posiadające niższe temperatury. Szczególnym przypadkiem plazmy nietermicznej jest tzw. zimna plazma (*Cold Plasma*, CAP) o temperaturze nie przekraczającej kilkudziesięciu stopni Celsjusza generowana pod ciśnieniem atmosferycznym (zimna plazma atmosferyczna, *Cold Atmospheric Plasma*).

Za wykorzystaniem tej techniki przemawia jej wysoka skuteczność w usuwaniu drobnoustrojów przy braku konieczności podgrzewania surowca.

Biologiczne zastosowanie plazmy niskotemperaturowej polega na wykorzystaniu bakteriobójczych właściwości wyładowań elektrycznych, a zwłaszcza wytwarzanych podczas tych wyładowań związków, takich jak: ozon (O_3), tlenek azotu (NO) i nadtlenek wodoru (H_2O_2). Pożądaną cechą plazmy w tych zastosowaniach jest brak równowagi termodynamicznej – niska temperatura gazu i wysokie energie elektronów inicjują reakcje chemiczne wpływające na struktury biologiczne i DNA bakterii, wirusów i grzybów, ale nie niszczą innych składników środowiska biologicznego poddawanego jej działaniu (Kryża i Szczepanik, 2010; Pawłat, 2013; Pawłat, 2013a; Grabowski i Dąbrowski, 2014; Skryplonek, 2016; Dasan i in., 2018).

Badania zamieszczone w niniejszej pracy są prowadzone w celu weryfikacji dotąd nieustalonych nowych możliwości inaktywacji patogennej mikroflory w soku warzywnym poprzez działanie plazmy niskotemperaturowej (w polskiej literaturze brak szczegółowych informacji na ten temat i kompleksowych wyników badań). W zagranicznych doniesieniach naukowych tylko kilku Autorów opisuje pozytywne działanie zimnej plazmy atmosferycznej (*Cold Atmospheric Plasma*) na wprowadzone do soków owocowych czy warzywnych patogeny, pomijając często właściwości fizykochemiczne tych produktów.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Charakterystyka oraz zastosowanie wybranych procesów utrwalania w przetwórstwie owoców i warzyw

Soki owocowe i warzywne są wyrobami łatwo psującymi się, a niewłaściwe warunki podczas transportu i przechowywania mogą znacznie obniżyć ich jakość. Z tego względu, w przemyśle spożywczym wyroby te, poddaje się utrwalaniu przy wykorzystaniu wielu różnych procesów cieplnych.

Najstarszą i długo stosowaną metodą jest pasteryzacja, która polega na ogrzewaniu surowców w temperaturze nie przekraczającej 100°C (najczęściej przeprowadza się ją w zakresie temperatur 65-90°C). W wyniku oddziaływania ciepła zniszczeniu ulegają drobnoustroje chorobotwórcze, a trwałość produktu zostaje przedłużona, gdyż formy vegetatywne zostają praktycznie w całości unieszkodliwione. W przypadku soków charakteryzujących się kwaśnym pH o wartości poniżej 4,5, technika ta umożliwia podwyższenie ich trwałości mikrobiologicznej.

Liczne wyniki badań (Knabel i in., 1990; Cunningham, 1995; Yen i Lin, 1996; Grappin i Beuvier, 1997) dowodzą iż, niszczenie drobnoustrojów pod wpływem wysokiej temperatury uwarunkowane jest wieloma czynnikami, m.in. składem i budową ściany komórkowej, wiekiem i stadium rozwoju komórki, jak również wysokością temperatury i czasem jej działania oraz właściwościami środowiska, w którym dochodzi do ogrzewania.

Z dostępnych doniesień opisujących wpływ procesu pasteryzacji na jakość soków i napojów owocowych wynika, iż temperatura pasteryzacji na poziomie 60°C jest w stanie wyeliminować obecne w nich drożdże oraz pleśnie. Z kolei, grzyby strzępkowe oraz komórki vegetatywne wymagają temperatury wyższej, tj. 65°C, natomiast mikroflora termofilna potrzebuje podczas pasteryzacji temperatury w zakresie od 65-85°C (Libudzisz i in., 2000; Kołożyn-Krajewska, 2007; Kowal, 2012).

Shailja i in. (2003), wykorzystali pasteryzację w celu opóźnienia wzrostu drobnoustrojów w soku pomarańczowym, przechowywanym do 7 dni w sterylizowanych butelkach. Autorzy pracy stwierdzili brak obecności drożdży, pleśni, jak również bakterii *Staphylococcus aureus*. W przeprowadzonych badaniach nie zaobserwowano również wymienionych drobnoustrojów do 60 dnia przechowywania tych produktów w warunkach chłodniczych.

Kukułowicz i Steinka (2009) w publikacji opisującej wpływ parametrów pasteryzacji na jakość mikrobiologiczną miazgi aloesowej, przedstawiły redukcję drożdży oraz grzybów pleśniowych zasiedlających pasteryzowaną tkankę aloesu. Stwierdziły, że po 180 dniach przechowywania nastąpił spadek zawartości mikroflory mezofilnej, tak w homogenacie ze skórą, jak też bez skóry o 0,26 i 3,5 log₁₀ jtk·g⁻¹.

Z badań Sokołowskiej i in. (2014) wynika, iż pasteryzacja próbek soku jabłkowego w temperaturze 85°C przez 60 minut spowodowała niewielki spadek ilości termofilnych bakterii przetrwalnikujących, natomiast wyższą redukcję obserwowano w próbkach poddanych ogrzewaniu w temperaturze 95°C w czasie 20 minut.

Malletroit i in. (1991) pod wpływem pasteryzacji, zredukowali bakterie *Saccharomyces cerevisiae* i *Hansenula anomala* zaszczipione w soku z winogron do niewykrywalnego poziomu.

Niestety stosowana obróbka cieplna może wpływać negatywnie na zawartość związków bioaktywnych w sokach owocowych i warzywnych (Bizri i Wahem, 1994; Odriozola-Serrano i in., 2009). Jak wykazały badania Hallmann i in. (2011) zastosowanie wysokiej temperatury w czasie pasteryzacji wpłynęło na obniżenie zawartości β -karotenu i witaminy C w soku marchwiowym. Poddany pasteryzacji produkt zawierał również istotnie mniej kwasów fenolowych w porównaniu z sokiem świeżym. Również badania Chen i in. (1995) potwierdziły obniżenie zawartości karotenoidów, witaminy C w soku marchwiowym poddanym utrwalaniu w temperaturze 105°C przez 25 s. W porównaniu z sokiem kontrolnym, produkt pasteryzowany charakteryzował się także znacznie mniejszą stabilnością parametrów określających barwę.

Kolejnym sposobem, który ma za zadanie ochronę produktu przed rozwojem patogennych drobnoustrojów jest zastosowanie wysokiego ciśnienia (*High Pressure Processing* - HPP), które w przetwórstwie owocowo-warzywnym wykorzystuje się przede wszystkim do utrwalania soków, smoothies, sosów (np. guacamole), przecierów (Marszałek i in., 2014). W Czechach firma Beskyd Fryčovice a.s. produkuje soki owocowo-warzywne (np. brokułowy z jabłkiem, marchwiowy, z czarnej rzepy i kapuściany z jabłkiem) pod nazwą REFIT, utrwalane metodą HPP, cieszące się dużym powodzeniem na lokalnym rynku (Mert i in., 2013; Marszałek i in., 2014; Szczepanska i in 2017). W ostatnim czasie również na rynku polskim pojawiły się soki owocowo-warzywne utrwalane na zimno pod wysokim ciśnieniem produkowane przez spółkę Victoria Cymes.

Formy wegetatywne bakterii, w tym patogennych, są dość łatwo inaktywowane, już przy ciśnieniach 200 MPa, drożdże i pleśnie przy ciśnieniu około 400 MPa, natomiast do inaktywacji przetrwalników potrzeba już ciśnień znacznie większych – od 600 do 800 MPa (często również w skojarzeniu z podwyższoną temperaturą) (Margosch i in., 2004; Pathanibul i in. 2009).

Kwasolubne bakterie przetrwalnikujące z rodzaju *Alicyclobacillus* (odporne na tradycyjną pasteryzację) stanowią największy problem podczas produkcji soków (Pettipher i in., 1997). Jednak Vercammen i in. (2011), w badaniach prowadzonych w zakresie ciśnień 100-800 MPa, przy pH 4-7, w temperaturze 25, 40 i 60°C, z wykorzystaniem buforów i sosu pomidorowego potwierdzili spadek ilości przetrwalników *Alicyclobacillus acidoterrestris*. W niższej temperaturze największą redukcję umożliwiała zastosowanie stosunkowo niskiego ciśnienia 100-300 MPa, natomiast przy wyższych ciśnieniach skuteczniejszą inaktywację uzyskiwano w wyższej temperaturze.

W badaniach Lee i in. (2002) spadek liczby przetrwalników *Alicyclobacillus acidoterrestris* w soku jabłkowym do poziomu $<1 \text{ jtk} \cdot \text{ml}^{-1}$ (o ponad $5,5 \log \text{ jtk} \cdot \text{ml}^{-1}$) uzyskano po zastosowaniu ciśnienia 207 MPa przez 5 minut w temperaturze 90°C.

Badania dotyczące utrwalania soków i nektarów truskawkowych wykazały wysoki potencjał aplikacyjny metody HPP. Przetwory utrwalone w ten sposób charakteryzowały się 12-tygodniowym okresem trwałości mikrobiologicznej, ale ze względu na niepełną inaktywację oksydoredukcyjnych enzymów tkankowych, a przez to postępującą degradację związków bioaktywnych podczas przechowywania, zalecany okres przydatności do spożycia wynosił do 6 tygodni (przy zachowaniu warunków chłodniczych) (Marszałek i in., 2011; Marszałek i Mitek, 2012).

Z kolei badania soku jabłkowego (Sokołowska i in., 2014) oraz pomarańczowego (Velázquez-Estrada, 2012) wykazały, że metoda HPP zmniejszała ilość witaminy C, β -karotenu i związków fenolowych w produktach. Za spadek zawartości tych substancji bioaktywnych najprawdopodobniej odpowiedzialne jest ciepło wydzielające się podczas zwiększania ciśnienia wewnątrz produktu (Frank i in., 2012).

Ze względu na redukcję związków biologicznie czynnych w materiałach płynnych, coraz częściej metody termiczne (cieplne) zastępowane są przez łagodne oddziaływanie nietermiczne pulsacyjnym polem elektrycznym (PEF) i ultradźwiękami.

Wiele badań potwierdza, że wstępna obróbka surowców pulsacyjnym polem elektrycznym przed wyciskaniem soku zwiększa wydajność procesu. Ponadto badania wykazały, że obróbka ta nie powoduje zmian barwy i zawartości polifenoli w winie oraz soku malinowym (El Darra i in., 2016; Lamanaukas i in., 2016), a także nie ma negatywnego wpływu na wygląd i składniki odżywcze borówek czarnych (Jin i in., 2017).

Mechanizm inaktywacji drobnoustrojów pod wpływem PEF nie jest do końca wyjaśniony. Można jedynie stwierdzić, że głównym czynnikiem wpływającym na inaktywację drobnoustrojów jest oddziaływanie pola elektrycznego, o wartości natężenia 10-80 kV/cm, czego skutkiem jest elektroporacja błony komórkowej drobnoustrojów, prowadząca do śmierci komórki i zwiększenia trwałości produktu spożywczego (Saulis i Wouters, 2007; Saulis, 2010).

Literatura przedmiotu podaje różne próby zastosowania pulsacyjnych pól elektrycznych wraz z innymi czynnikami zmierzającymi do wydłużenia trwałości produktu spożywczego, czego przykładem może być redukcja *Sacharomyces cerevisiae* w soku jabłkowym. Produkt traktowany PEF (29,6°C) i przechowywany w temperaturze 4°C i 25°C, charakteryzował się okresem przydatności do spożycia dłuższym niż 3 tygodnie (Qin i in., 1995).

Badania przeprowadzone przez Yeom i in. (2000) dowodzą iż, obróbka PEF soku pomarańczowego przy 35 kV·cm⁻¹ przez 59 ms spowodowała 7-log redukcji ogólnej liczby drobnoustrojów.

Z kolei, wyniki analiz soków jabłkowych, pomarańczowych i arbuzowych w celu oceny stopnia inaktywacji *Salmonella Panama*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* i *Sacharomyces cerevisiae* dowodzą, że skuteczność PEF wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, która powinna być określona indywidualnie dla różnych rodzajów produktów, w odniesieniu do takich wartości jak pH czy zawartość wody, a także jest zależna od rodzaju niszczonych mikroorganizmów (Timmermans i in., 2014).

Skuteczność omawianej obróbki udowodniona została w przypadku wegetatywnych form drobnoustrojów, niestety w odniesieniu do przetrwalników metoda PEF nie jest efektywna. Dlatego szczególnie uzasadnionym w kontekście „teorii plotkowej” wydaje się zastosowanie kilku różnych metod utrwalania w celu osiągnięcia bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktu (Leistner, 1992). Jednak w zastosowaniu praktycznym mogłoby to sprawiać pewne utrudnienia, a także generować dodatkowe koszty produkcji wyrobów spożywczych o odpowiedniej jakości.

Ultradźwięki to nowa metoda znajdująca zastosowanie w przemyśle spożywczym. Mechanizmów ultradźwiękowej inaktywacji drobnoustrojów dopatruje się w szeregu złożonych procesów fizykochemicznych, u których podstaw leżą szybkozmienne naprężenia mechaniczne, dyssypacja energii, kawitacja wraz z całą gamą zjawisk pochodnych, a w szczególnych przypadkach, tak zwany rezonans komórkowy. Badania laboratoryjne

wykazują destrukcyjny wpływ ultradźwięków na kolonie drobnoustrojów uwidaczniający się w postaci uszkodzeń elementów komórek i struktur tkankowych.

Istotnym ograniczeniem zastosowania ultradźwięków w przetwórstwie żywności jest problem związany z wytwarzaniem ciepła podczas ich aplikacji, co może prowadzić do przemian fizycznych, chemicznych i biochemicznych, zachodzących w surowcach (Stasiak i in., 2007; Sakowski i Janiszewska, 2013).

Badania soku pomidorowego wykazały dezaktywację drożdży (*Pichia fermentans*) o 5 log, a poziom ich redukcji zależał od zastosowanej amplitudy i czasu trwania procesu (Adekunte i in., 2010).

W badaniach Bermúdez-Aguirre (2012) dotyczących sonikacji (24 kHz, 400 W) w temperaturze 40°C, 50°C i 60°C przez 10 minut w trybie ciągłym i impulsowym, poddano sok ananasowy, winogronowy i żurawinowy. Zaobserwowano redukcję *Saccharomyces cerevisiae* (w zależności od utrwalanego produktu), jednak pH i barwa produktów uległy znaczącej zmianie.

Podczas zastosowania ultradźwięków o wysokiej częstotliwości (378 i 583 kHz) przy wzrastających gęstościach energii (do 250 MJ·m⁻³) zauważono, iż zawartość likopenu i całkowita zawartość związków fenolowych, a także aktywność hamująca α -glukozydazy w soku pomidorowym nie zmieniały się (niezależnie od częstotliwości i gęstości energii). Jednak ultradźwięki o wysokiej częstotliwości negatywnie wpłynęły na właściwości przeciwtleniające produktu (Bot i in., 2017).

Jednym ze sposobów oczyszczania wody pitnej z drobnoustrojów (dezynfekcja wody) jest ozonowanie. Urząd Kontroli Leków i Żywności (FDA, USA) w 1982 r. wpisał ozon na listę substancji uznanych za bezpieczne (*Generally Recognized As Safe* – GRAS) (Krosowiak i in., 2007).

W badaniach Kowalskiej i in. (2016) wykazano, że ozon zastosowany w dawce 7 dm³·min⁻¹ przez 30 minut obniżył liczbę bakterii mezofilnych i bakterii tworzących śluz o około 3 log, drożdży o 2,6 log oraz pleśni o 0,5 log również w surowym soku z buraków cukrowych. Nastąpiło również zmniejszenie zabarwienia i kwasowości produktu odpowiednio o 34,9% i 16%.

Bardzo silne zdolności utleniające sprawiają, że podatne na działanie ozonu są bakterie *Escherichia coli* i *Salmonella* zanieczyszczające sok pomarańczowy i cydr jabłkowy (Williams i in., 2005; Patil i in., 2009).

Ze względu na to, że w komórkach bakteryjnych pierwszym miejscem ataku są zewnętrzne struktury komórkowe, ozon reaguje z nienasyconymi kwasami tłuszczowymi zawartymi w lipidach błony komórkowej i powoduje rozpad cząsteczek tych kwasów. Następuje wówczas wypływanie składników wewnątrzkomórkowych do środowiska zewnętrznego oraz liza komórek drobnoustrojów (Krosowiak i in., 2007). Drugim miejscem ataku są wewnętrzne składniki komórek bakteryjnych. Ozon dyfunduje do wnętrza komórki i reaguje z jej składnikami – głównie z zasadami purynowymi i pirymidynowymi budującymi nukleotydy. W reakcję wchodzi także aminokwasy zawarte w białkach zarówno strukturalnych, jak i enzymatycznych (Moldau, 1998; Solecka, 2005).

Technologią, która spełnia wymagania metod nietermicznych i znajduje się obecnie w sferze zainteresowania naukowców jest plazma niskotemperaturowa. Energia wyładowań elektrycznych jest niezbędna do przekształcenia gazu neutralnego w plazmę i związana jest ze zjawiskiem jonizacji oraz dysocjacji cząstek gazu.

Mechanizm działania plazmy (podobnie jak pulsacyjnego pola elektrycznego) na mikroorganizmy nie został jeszcze dokładnie poznany. Niskotemperaturowa plazma zawiera szereg różnych cząsteczek chemicznych, które charakteryzują się wysoką reaktywnością – również w kontakcie z materiałem biologicznym (Brisset i Pawłat, 2016; Kwiatkowski i in., 2014).

Efekt antymikrobiologiczny opiera się najprawdopodobniej na następujących mechanizmach:

- niszczeniu ścian i błon komórkowych komórek zarówno mechanicznie poprzez naprężenia ścinające jak i poprzez utlenianie i fotodesorpcję, czyli wytrawianie i erozję mikroorganizmów indukowane utleniaczami i fotonami UV zrywającymi wiązania chemiczne w cząsteczkach i powodującymi ich rozkład na drobnocząsteczkowe związki lotne;
- uszkodzeniu materiału genetycznego drobnoustrojów na skutek działania reaktywnych form tlenu i azotu RONS i promieniowania UV, które powodują nieodwracalne pęknięcia w łańcuchach DNA prowadzące do mutacji i śmierci komórek;
- indukowaniu cykli biochemicznych komórki, prowadzących do jej śmierci.

Szczególnie reaktywne są pochodne tlenu lub azotu: O_2^+ , 1O_2 , O_3 , $^{\bullet}OH$, $NO^{\bullet}$, i $NO_2^{\bullet}$, przy czym najbardziej letalne działanie wykazuje tlen atomowy i rodnik hydroksylowy. Najprawdopodobniej molekuly te prowadzą do zmian natury oksydacyjnej w lipidach i proteinach plazmolemmy. W związku z tym intensywne bombardowanie komórki bardzo reaktywnymi składnikami plazmy prowadzi do poważnych, niedających się szybko naprawić uszkodzeń błony komórkowej i w konsekwencji do jej przerwania (Yu i in., 2006; Wiktor i in., 2013; Grabowski i Dąbrowski, 2014; Samoń i in., 2014; Terebun i in., 2014; Bruggeman i in., 2016).

Żywność, do utrwalania której rozważa się stosowanie obróbki plazmowej to głównie produkty zwierzęce, takie jak surowe mięso, czy gotowe do spożycia pokrojone na plastry wędliny i sery (Noriega i in., 2011; Rød, 2012), a także spożywane na surowo owoce oraz warzywa (w ostatnich latach prowadzono prace nad utrwalaniem, m.in. truskawek, melonów, mango, sałaty, szpinaku, ziemniaków oraz kiełków). Zimna plazma może być stosowana do sterylizacji nie tylko świeżych surowców, ale także produktów suszonych (ziarna, orzechy) czy przypraw (pieprz, bazylia) (Noriega i in., 2011; Fernández i in., 2013).

W celu wdrożenia technologii utrwalania żywności poprzez działanie zimnej plazmy konieczne jest jednak przeprowadzenie dalszych badań nad skutecznością jej działania w stosunku do innych produktów spożywczych. Jednym z nich są soki owocowe lub warzywne, które bardzo szybko ulegają zepsuciu. Powierzchnia oraz skład chemiczny każdego rodzaju soku stwarza inne warunki rozwoju dla mikroorganizmów i w mniejszym lub większym stopniu chroni je przed niszczyielskim działaniem plazmy. Tak więc, aby mieć pewność, że badany sok jest bezpieczny mikrobiologicznie, każdy surowiec wymaga indywidualnego doboru parametrów procesu. Kolejnym ciekawym przedmiotem badań jest wpływ działania zimnej plazmy na cechy fizykochemiczne takich produktów.

2.2. Właściwości biologiczne soku z pomidora

Współczesny stan wiedzy żywieniowej wskazuje, że warzywa i owoce powinny mieć stałe miejsce w diecie i być spożywane nawet kilka razy w ciągu dnia (Maasland i in., 2015; Hayes, 2016).

Pośród tych produktów na szczególną uwagę zasługują pomidory i ich przetwory. Sok pomidorowy jest jednym z najczęściej produkowanych w kraju i na świecie soków typu przecierowego. Wysokie spożycie tego typu produktu wynika nie tylko z orzeźwiającego smaku pobudzającego apetyt, ale też z wysokiej wartości odżywczej. Produkt ten, charakteryzuje się niską kalorycznością (12 kcal), bogactwem składników mineralnych (sód, potas, fosfor, magnez, wapń, żelazo, miedź, cynk, mangan) oraz wysoką zawartością cennych, z żywieniowego punktu widzenia, składników bioaktywnych, takich jak karotenoidy oraz związki flawonoidowe, jak też witaminy C (Ostasiewicz i Piecyk, 2009).

Karotenoidy są pigmentami, które odgrywają ważną rolę w ochronie roślin przed działaniem fotoooksydacyjnym. Są efektywnymi antyoksydantami i uczestniczą w wymiataniu tlenu singletowego oraz rodników nadtlenkowych. W organizmie człowieka karotenoidy jako przeciwutleniacze są również częścią systemu obrony przed wolnymi rodnikami. Wśród różnych rodników, które powstają w ludzkim organizmie, karotenoidy najbardziej efektywnie reagują z rodnikami nadtlenkowymi. Są one generowane w procesie peroksydacji lipidów i prowadzą do uszkodzenia kompartmentów lipofilowych. Karotenoidy ze względu na lipofilność i ich szczególne właściwości wymiatania rodników nadtlenkowych odgrywają ważną rolę w ochronie lipoprotein błony komórkowej przed oksydacyjnymi uszkodzeniami. Mogą one też oddziaływać synergistycznie z innymi antyoksydantami. Najbardziej skuteczne są mieszanki karotenoidów. Aktywność antyoksydacyjna karotenoidów wynika z ich struktury chemicznej i związana jest z obecnością wiązań podwójnych, a najbardziej wydajny jest otwarty pierścień karotenoidowy likopenu (Sies i Stahl, 1995; Abushita i in., 2000; Stahl i Sies, 2005; Bołonkowska i in., 2011).

Wśród karotenoidów, głównym pigmentem odpowiedzialnym za charakterystyczny, głęboko czerwony kolor dojrzałych owoców pomidora jest właśnie likopen, którego organizm człowieka sam nie syntetyzuje i należy dostarczać go wraz z pożywieniem. Związek ten jest w największym stopniu absorbowany z przetworów, między innymi soków (zawartość likopenu w pomidorach wynosi około $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy, natomiast w soku pomidorowym około $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Szajdek i Borowska, 2004; Skiepmo i in., 2015).

Wykazano, że spożywanie produktów z pomidorów, wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem chorób cywilizacyjnych, takich jak nowotwory i choroby sercowo-naczyniowe. Przy ochronie przed nowotworami wykryto przede wszystkim dwa mechanizmy: utrudnienie tworzenia się substancji kancerogennych oraz hamowanie nienaturalnego podziału komórek w organizmie. Likopen może także odgrywać rolę w metabolizmie cholesterolu - zapobiega on utlenianiu frakcji LDL oraz obniża jego ogólny poziom. W ten sposób zmniejsza ryzyko wystąpienia chorób układu krążenia (Vinha i in., 2014; Ricci i in, 2017).

Powyższe dobroczynne właściwości likopenu (aktywność przeciwutleniająca likopenu jest dwukrotnie większa niż β -karotenu i dziesięć razy wydajniejsza niż α -tokoferolu) wynikają z tego, że łatwo reaguje on z atomowym tlenem i reaktywnymi formami tlenu (RFT). Dzięki swoim właściwościom przeciwutleniającym może zahamować tworzenie się wolnych rodników lub innych szkodliwych cząsteczek (wolne rodniki to cząstki, które mają

przynajmniej jeden niesparowany elektron, natomiast likopen będąc donorem elektronu może je w ten sposób neutralizować) (Böhm i in., 2001; Kim i in., 2001; Fish i in., 2002; Belter i in., 2011).

β -karoten jest najbardziej znanym karotenoidem i jednocześnie aktywnym prekursorem witaminy A. Nazwą „witamina A” określa się β -jononowe pochodne o strukturze podobnej do trans-retinolu. Z kolei, prowitaminami witaminy A nazywa się karotenoidy o aktywności biologicznej zbliżonej do witaminy A. Związków takich jest około 50, jednak za najważniejszy uznaje się β -karoten. Neutralizuje on wolne rodniki, wywołuje przebarwienie skóry przez co chroni ją przed szkodliwym działaniem promieni słonecznych. Stwierdzono również, że β -karoten hamuje utlenianie cholesterolu i chroni grasicę przed niekorzystnym działaniem wolnych rodników (Sztangret i in., 2001; Igielska-Kalwat i in., 2013).

Soki pomidorowe stanowią dla człowieka bogate źródło związków o właściwościach przeciwutleniających, reprezentowanych przede wszystkim przez witaminę C. Wykazuje ona zdolność neutralizacji szkodliwego działania wolnych rodników i nadtlenków lipidowych. Witamina C charakteryzuje się zdolnością destrukcji nadtlenków lipidów, jest zmiataczem wolnych rodników, powstających zarówno podczas przygotowywania żywości, jak i w wyniku procesów metabolicznych w organizmie. Niedobór witaminy C w diecie zwiększa podatność tkanek na działanie wolnych rodników, zarówno zewnątrzpo pochodnych, jak i tych, które powstają w ustroju w wyniku nasilonych procesów oksydacyjnych (Janda i in., 2015).

Sok pomidorowy zawiera również kwercetynę, należącą do flawonoidów. Związki te swoje właściwości przeciwutleniające zawdzięczają obecności sprzężonych, podwójnych wiązań oraz grup hydroksylowych, dzięki czemu mogą skutecznie zwalczać wolne rodniki, a także chelatować metale o charakterze prooksydacyjnym (np. żelazo). Dodatkowo obecność flawonoidów w pomidorach i ich przetworach nasila antyoksydacyjne właściwości pozostałych składników. Do innych pozytywnych aspektów działania flawonoidów można zaliczyć uszczelnianie naczyń krwionośnych poprzez hamowanie aktywności enzymów proteolitycznych (elastazy, hialuronidazy), co prowadzi do wzmocnienia tkanki łącznej w śródbłonku naczyń, zwiększenia ich elastyczności i uszczelnienia ścianek. Takie działanie prowadzi do efektu przeciwwysiękowego i przeciwochrząstwowego (Czeczot, 2000; Czaplińska i in., 2012).

Podsumowując, naturalne substancje biologiczne występujące w pomidorach i ich przetworach, wprowadzone do organizmu wraz z dietą (w odpowiednich ilościach) dają szansę na poprawę warunków życia i zmniejszenie liczby zachorowań (Gahler i in., 2003; Wawrzyniak i in., 2011).

3. CEL PRACY

Powiększający się zasób wiedzy o żywieniu, konkurencja na rynku oraz zmieniające się prawo wymuszają na producentach zarówno optymalizowanie istniejących rozwiązań technologicznych jak i poszukiwanie nowych, możliwych do wykorzystania w produkcji żywności.

Ważnym uwarunkowaniem rozwoju tych technologii jest identyfikacja i pokonywanie zagrożeń wynikających z modyfikacji mikroorganizmów patogennych i środowiska naturalnego oraz ciągłej intensyfikacji przepływu żywności na globalnym rynku. Stąd, konieczność ciągłego rozwoju metod produkcji i utrwalania żywności oraz wdrażania nowych rozwiązań w tym zakresie.

Wśród nich należy wymienić, m.in.: wykorzystanie ultradźwięków (US), wysokich ciśnień (HPP), pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) oraz bardzo obiecującej technologii zimnej plazmy (CAP).

Na podstawie dostępnych wyników badań (Lee i in., 2006; Basaran i in., 2008; Ziuzina i in., 2013) udowodniono antybakteryjną i przeciwgrzybiczą aktywność zimnej plazmy atmosferycznej, jednak niewiele jest doniesień o jej skuteczności w inaktywacji flory mikrobiologicznej rozwijającej się w sokach owocowych lub warzywnych.

Jak dotąd badania nad wpływem zimnej plazmy na czystość mikrobiologiczną, przeprowadzono wykorzystując pasteryzowane soki zaszczepione wybranymi drobnoustrojami. Zaobserwowano zmniejszenie liczby *Escherichia coli* w sokach z pomarańczy, pomidorowych i jabłkowych oraz w nektarze z wiśni (Dasan i in., 2018; Liao i in., 2018), *Salmonella enterica* w soku pomarańczowym (Xu i in., 2017), *Citrobacterfreundii* w soku jabłkowym (Surowsky i in., 2014) i *Sacharomyces cerevisiae* w białym soku winogronowym (Pankaj i in., 2017). Tylko nieliczni autorzy analizowali wpływ zimnej plazmy na właściwości fizykochemiczne produktów poddawanych utrwalaniu.

Skuteczność zimnej plazmy atmosferycznej w eliminacji mikroflory naturalnie występującej w niepasteryzowanym soku, odpowiedzialnej za jego psucie, nie była dotąd badana. Nie sprawdzano również zakresu oddziaływania tej techniki na właściwości fizykochemiczne, a także mikrostrukturę świeżo otrzymanych wyrobów owocowo-warzywnych.

Ze względu na znaczne rozdrobnienie surowca oraz skład chemiczny (dużą zawartość węglowodanów, obecność kwasów organicznych i witamin), niepasteryzowane soki warzywne stanowią doskonałe środowisko do rozwoju mikroorganizmów. Parametrem determinującym rozwój określonej grupy drobnoustrojów jest w tym przypadku niski poziom pH, w zakresie 2,5-5,0. Szanse na przeżycie w tych warunkach mają bakterie acidofilne (kwasolubne), spory czy konidia pleśni oraz niektóre gatunki drożdży.

Stąd też, skupiono się na rozwiązaniu następującego problemu badawczego: czy zastosowanie plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze może przyczynić się do inaktywacji patogennych mikroorganizmów w świeżo tłoczonym soku pomidorowym przy jednoczesnym zachowaniu jego mikrostruktury oraz właściwości fizykochemicznych. Efekty oddziaływania procesu, porównano z wynikami badań uzyskanymi po pasteryzacji i sonikacji.

4. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

4.1. Materiał doświadczalny i jego przygotowanie

Świeże pomidory (*Lycopersicon Esculentum* odmiany Torero) zakupiono w Gospodarstwie Ogrodniczym prowadzącym ochronę biologiczną (województwo lubelskie, Polska). Pomidory umyto spłukując wodą z kranu, osuszono papierowymi ręcznikami, a następnie wyciśnięto z nich sok za pomocą sokowirówki wolnoobrotowej SSJ 4043WH, Sencor, Říčany, Czechy. Próbkę soku zostały wykorzystane do analizy mikrobiologicznej, fizykochemicznej oraz mikroskopowej.

4.2. Metodyka przeprowadzania obróbki soku pomidorowego

Próbkę kontrolną stanowił sok z pomidorów nie poddany obróbce cieplnej. Następnie próbki soków pasteryzowano oraz poddano sonikacji i działaniu zimnej plazmy atmosferycznej. Tak obrobiony materiał był przechowywany w warunkach chłodniczych (4°C) i pobierany do badań w 1, 4, 7 i 10 dniu.

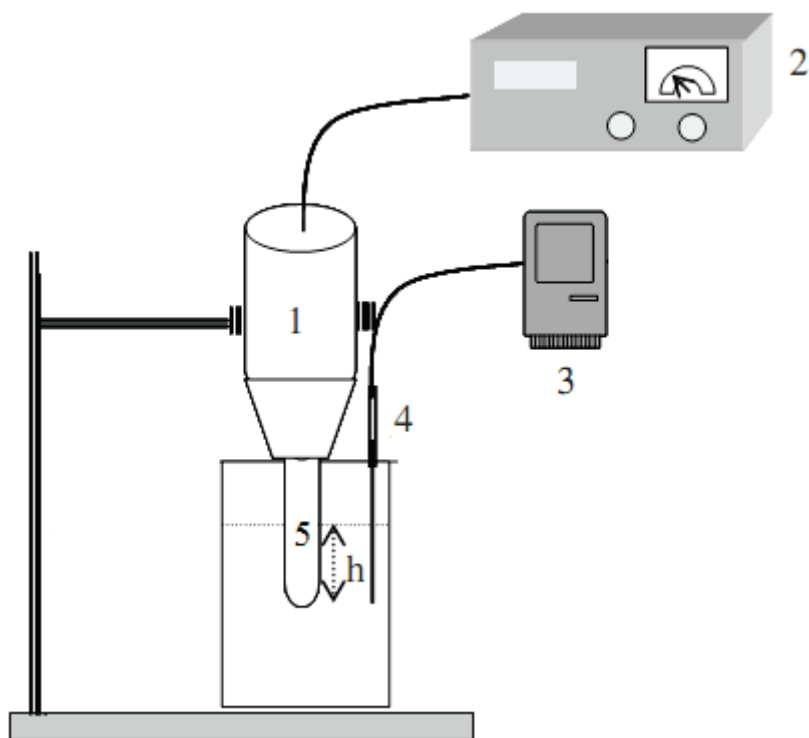
4.2.1. Pasteryzacja

Soki pomidorowe utrwalano za pomocą tradycyjnej pasteryzacji w słoikach o pojemności 180 ml, przy użyciu łaźni czterostanowiskowej z cyfrowym sterowaniem firmy AJL Electronic (Kraków, Polska) w temperaturze 70 i 90°C, w ciągu 300, 600 i 900 sekund.

4.2.2. Sonikacja

Obróbka ultradźwiękowa odbyła się przy wykorzystaniu procesora firmy Sonics, model VCX750 (Sonics and Materials Inc., Newtown, USA) z sondą o średnicy 19 mm (rys. 1), przy stałej częstotliwości f wynoszącej 20 kHz. Natężenie ultradźwięków wynosiło: 28 W·cm⁻² i 40 W·cm⁻².

Próbki soku pomidorowego o objętości 150 ml (temperatura początkowa materiału wynosiła 25°C) umieszczono w 250 ml kolbie szklanej i obrabiano ultradźwiękami przez czas t równy 120, 300 i 600 sekund (sonda ultradźwiękowa została zanurzona w próbce na głębokość h 25 mm). Temperatura soku T podczas sonikacji była różna i wynosiła od 48 do 79°C (tab. 1).



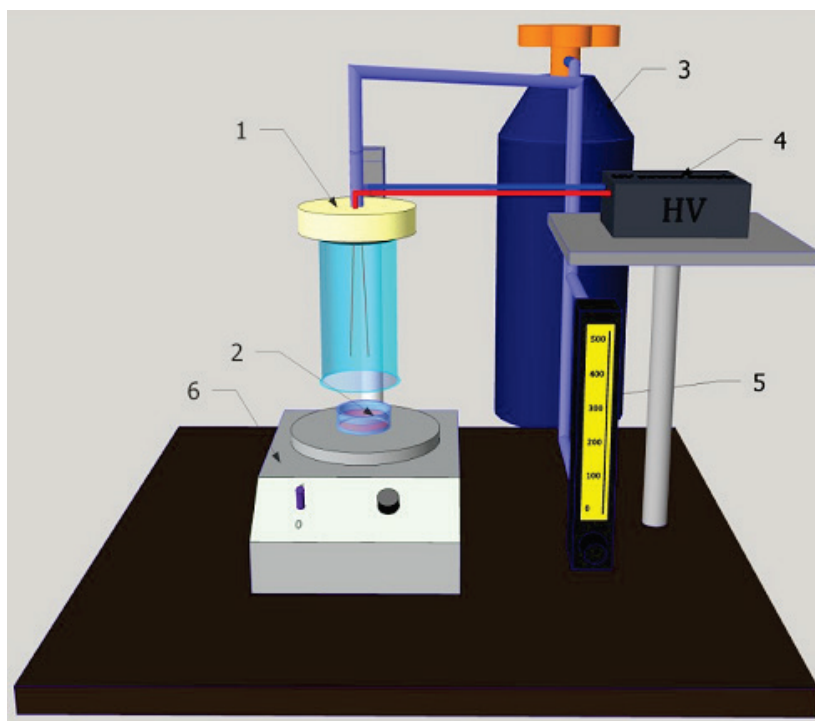
Rys. 1. Układ doświadczalny do obróbki soku ultradźwiękami: 1 – przetwornik ultradźwiękowy; 2 – generator ultradźwiękowy; 3 – rejestrator danych; 4 – termosonda; 5 – sonda ultradźwiękowa; h – głębokość zanurzenia sondy ultradźwiękowej w próbce soku pomidorowego

Tabela 1.
Parametry procesu sonikacji

Czas sonikacji t (s)	Temperatura soku po sonikacji T (°C)	Natężenie I (W·cm ⁻²)	Energia E (J)
120	48	28	10509
300	56		21098
600	72		41128
120	51	40	14099
300	63		32587
600	79		63184

4.2.3. Zimna plazma atmosferyczna

Obróbkę zimną plazmą świeżego soku pomidorowego przeprowadzono przy wykorzystaniu reaktora plazmowego typu *Glide-arc (Gliding Arc Discharge, GAD)* (rys. 2) ze ślizgającym się łukiem elektrycznym, pracującego pod ciśnieniem atmosferycznym. W reaktorze zamontowano dwie 10-cio centymetrowe elektrody robocze wykonane z drutu miedzianego. System dystrybucji gazu procesowego, którym był azot lub powietrze, pozwalał na skierowanie jego strumienia wzdłuż elektrod, dzięki czemu, powstający między nimi łuk elektryczny przemieszczał się wzdłuż nich w wyniku wymuszonego przepływu gazu, zwiększając objętość wyładowania (rys. 3). Układ zasilania stanowił jednofazowy przekształtnik wysokiego napięcia o częstotliwości sieciowej.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego z reaktorem plazmowym GAD 1 – GAD; 2 – próbka; 3 – zasilanie gazem; 4 – zasilanie; 5 – przeływomierz; 6 – mieszkadło magnetyczne



Rys. 3. Fotografia elektrod oraz wyladowania elektrycznego

Do reaktora typu Glide-arc zasilanego prądem o częstotliwości 50 Hz, napięciu 3,8 kV i o mocy 40 W podano w pierwszym etapie badań azot (tab. 2), a w kolejnych doświadczeniach powietrze (tab. 3) o przepływie $440 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$. Strumień gazu opuszczającego reaktor skierowano na sok pomidorowy (w ilości 50 ml) o temperaturze wejściowej równej 25°C , który był umieszczony na podajniku przez zadany czas t . Po obróbce następował nieznaczny tylko wzrost temperatury soku do maksymalnie 31°C .

Tabela 2.

Pomiar temperatury próbki po obróbce zimną plazmą dla gazu procesowego: azotu

Czas obróbki plazmą t (s)	Temperatura soku po obróbce plazmą T ($^{\circ}\text{C}$)
30	25
60	26
120	27
300	28
600	29

Tabela 3.

Pomiar temperatury próbki po obróbce zimną plazmą dla gazu procesowego: powietrza

Czas obróbki plazmą <i>t</i> (s)	Temperatura soku po obróbce plazmą <i>T</i> (°C)
30	25
60	26
120	28
300	29
600	31

4.3. Metodyka badań mikrobiologicznych

W celu oceny skuteczności działania zastosowanych metod obróbki w dekontaminacji mikrobiologicznej próbki soku po 1, 4, 7 i 10 dniach chłodniczego przechowywania, przekazane były do akredytowanego laboratorium mikrobiologicznego dla przetwórstwa spożywczego (Polskie Centrum Akredytacji AB 444), gdzie wykonywane były posiewy mające na celu określenie ogólnej liczby drobnoustrojów tlenowych (PN-EN ISO 4833-1:2013-12), bakterii kwaszących typu mlekowego (PN ISO 15214:2002), bakterii z grupy coli (PN ISO 4832:2007), *Escherichia coli* (PN ISO 16649-2:2004), drożdży (PN ISO 21527-1:2009), pleśni (PN ISO 21527-1:2009), *Listeria monocytogenes* (QMP_504_EC_19_51_2 z dnia 04.01.2016) oraz *Salmonella* (PN-EN ISO 6579-1:2017-04).

4.4. Metodyka oznaczania właściwości fizykochemicznych soku pomidorowego

4.4.1. Oznaczanie suchej substancji

Suchą substancję próbek oznaczano metodą termicznego suszenia w suszarce typu SLN15 STD, Wodzisław Śląski, Polska, w temperaturze 105°C w warunkach normalnego ciśnienia przez 24 godziny (Hallmann, 2012).

4.4.2. Oznaczanie kwasowości

Kwasowość próbek soku pomidorowego mierzono za pomocą cyfrowego pehametru (780 pH Meter, Metrohm, Herisau, Szwajcaria). 10 ml produktu umieszczano w zlewce i mieszano w sposób ciągły za pomocą mieszadła magnetycznego; pH mierzono w temperaturze 25±0,5°C. Pehametr skalibrowano za pomocą dostępnych w handlu roztworów buforowych o pH 7,0 i 4,0.

4.4.3. Oznaczanie zawartości substancji rozpuszczalnych

Zawartość substancji rozpuszczalnych badano przy użyciu refraktometru PAL-1 Atago (Tokio, Japonia). Wyniki z pomiarów przedstawiono w skali *Brix*a (Javanmardi i Kubota, 2006; Balestra i in., 2011).

4.4.4. Oznaczanie całkowitej zawartości karotenoidów i likopenu

Całkowitą zawartość karotenoidów i likopenu określono metodą spektrofotometrii przy użyciu spektrofotometru Thermo Scientific UV-Vis Helios Omega 3, Waltham, Massachusetts, USA.

Metoda polegała na wyekstrahowaniu obu związków mieszaniną: acetonu z 0,2% BHT, etanolu i heksanu (1:1:2) z badanej próbki i oznaczeniu go przez pomiar absorbancji fazy heksanowej przy długości fali $\lambda=470$ nm (dla karotenoidów) i $\lambda=503$ nm (dla likopenu) (Gonzales-Casado i in, 2018).

4.4.5. Oznaczanie zawartości kwasu askorbinowego

Zawartość witaminy C (kwasu L-askorbinowego) oznaczano metodą miareczkową zgodnie z Hallmann (2012). Próbkę ekstrahowano 2% kwasem szczawiowym, przefiltrowano i następnie miareczkowano roztworem 2,6-dichlorofenolindofenolu (barwnik Tillmansa) do uzyskania trwałego różowego zabarwienia. Za miano 2,6-dichlorofenolindofenolu przyjęto liczbę cm^3 barwnika potrzebną do utlenienia 1 mg kwasu askorbinowego.

4.5. Analiza mikroskopowa

Analizę mikroskopową świeżego soku pomidorowego (próbka kontrolna) oraz produktów poddanych utrwalaniu przeprowadzono przy wykorzystaniu mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX 950F.

4.6. Analiza statystyczna

Wyniki z analiz mikrobiologicznych przedstawiono jako wartości średnie z pięciu posiewów z każdej próbki wraz z odchyleniem standardowym (SD), natomiast badania poszczególnych właściwości fizykochemicznych przeprowadzono w trzech powtórzeniach i zaprezentowano je również jako wartości średnie wraz z odchyleniem standardowym (SD).

Dodatkowo do zbadania wpływu czynników (temperatury procesu, czasu obróbki, czasu przechowywania) na właściwości fizykochemiczne soku pomidorowego zastosowano test Kruskala-Wallisa (Statistica 10, StatSoft Inc., Tulsa, OK., U.S.A.). Szczególną uwagę zwrócono na porównania grupy kontrolnej z poszczególnymi poziomami czynników w ustalonym dniu przechowywania (1, 4 oraz 7). Równie ważne było sprawdzenie wpływu czasu przechowywania na zmianę badanych parametrów. Wyniki odpowiednich porównań wielokrotnych przedstawiono w tabelach.

5. WYNIKI BADAŃ

5.1. Wyniki badań mikrobiologicznych

Zawartość mikroorganizmów w soku świadczy o jego jakości mikrobiologicznej i przydatności do spożycia. Wykrycie obecności nawet minimalnej liczby bakterii chorobotwórczych, takich jak *Listeria monocytogenes* czy *Salmonella* czyni sok nieprzydatnym do spożycia i skutkuje wycofaniem całej partii produktu. Również obecność *Escherichia coli* musi być pod ścisłą kontrolą i nie powinna przekraczać $100 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$). Zwiększona zawartość tej bakterii świadczy o zanieczyszczeniu soku bakteriami kałowymi w trakcie produkcji i dyskwalifikuje produkt spożywczy.

W przygotowanych do badań próbkach soku pomidorowego, zarówno kontrolnych, jak i poddanych utrwalaniu, w żadnym przypadku nie wykryto obecności bakterii chorobotwórczych *Listeria monocytogenes* i *Salmonella*. Bakterie *Escherichia coli* również były poniżej granicy oznaczalności ($<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$). Obecność w niepasteryzowanym soku warzywnym mezofilnych drobnoustrojów tlenowych, w tym bakterii kwaszących typu mlekowego, oraz drożdży jest zjawiskiem naturalnym, związanym z obecnością tych mikroorganizmów na warzywach oraz urządzeniach i przedmiotach używanych do wyciskania soku. Mikroorganizmy te są odpowiedzialne za psucie i fermentację soku w trakcie przechowywania, czyniąc go po jednym do kilku dni nieprzydatnym do spożycia.

Obowiązujące w Polsce Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r., z późniejszymi zmianami (w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności) określa jakość mikrobiologiczną tylko dla pasteryzowanych soków owocowych i warzywnych (Regulation of the Polish Minister of Health, 2003). Według tego Rozporządzenia w sokach pasteryzowanych dopuszczalna jest obecność mezofilnych mikroorganizmów tlenowych w liczbie równej lub niższej od $10^3 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($3,0 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), a w maksymalnie dwóch próbkach z pięciu pobranych z danej partii może być pomiędzy 10^3 – $10^4 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($3,0$ – $4,0 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$). Wynik powyżej $10^4 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dyskwalifikuje całą partię produktu. To samo Rozporządzenie określa dopuszczalną zawartość drożdży i pleśni w sokach pasteryzowanych na poziomie równym lub poniżej $10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), a w dwóch próbkach z pięciu w granicach 10 – $2 \times 10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$.

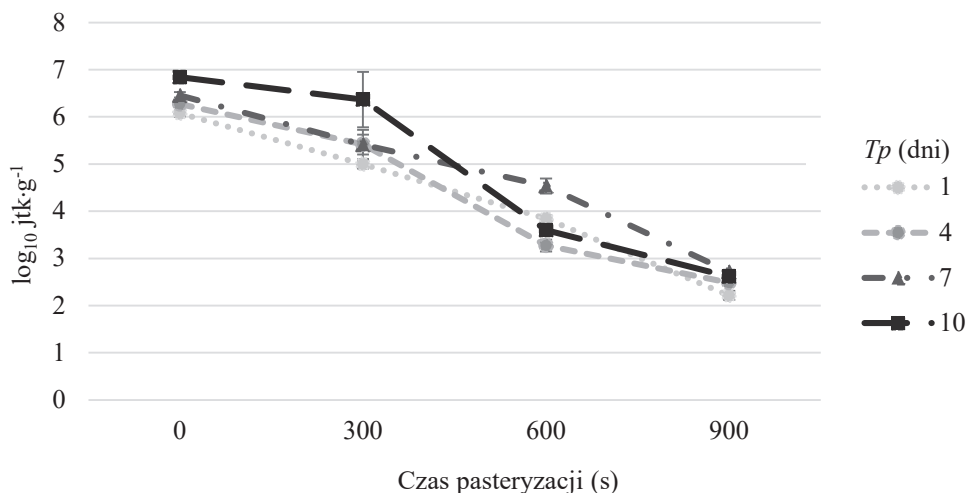
Przepisy prawne nie definiują dopuszczalnej zawartości mezofilnych mikroorganizmów tlenowych w świeżych sokach niepasteryzowanych. Wskazywane jest jedynie, że wykrycie każdej ilości bakterii chorobotwórczych, takich jak *Salmonella* i *Listeria monocytogenes* dyskwalifikuje produkt. Rozporządzenie Komisji Europejskiej nr 2073/2005 z 15 listopada 2005, dotyczące mikrobiologicznych kryteriów żywności (Commission Regulation, 2005), dla świeżych, niepasteryzowanych soków owocowych i warzywnych określa jedynie dopuszczalne zanieczyszczenie bakteriami *Escherichia coli* na poziomie równym lub niższym od $100 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($\leq 2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), a w dwóch próbkach z pięciu na poziomie pomiędzy 100 – $1000 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ (2 – $3 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$). W literaturze nie ma informacji na temat dopuszczalnej zawartości mikroorganizmów tlenowych w niepasteryzowanym soku pomidorowym.

Dostępne w publikacjach dane dotyczące zawartości mikroorganizmów tlenowych w świeżo wyciśniętych sokach owocowych i warzywnych różnią się znacznie (od 2 do

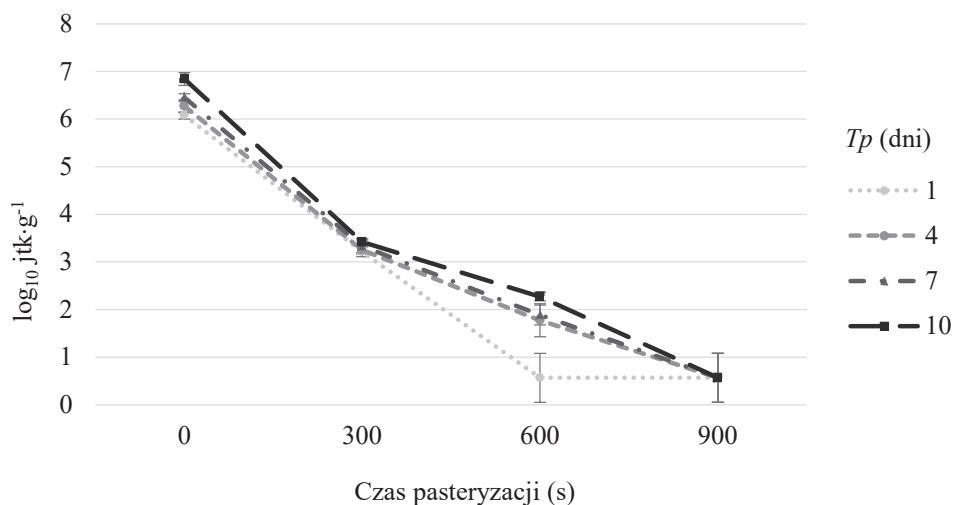
$7 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) w zależności od odmiany i sposobu uprawy, użytych owoców i warzyw, warunków przechowywania, metody wyciskania soku, itp. (Bagci i in., 2011; Gientka i in., 2012; Djadouni i in., 2015; Iqbal i in., 2015). Generalnie przyjmuje się że obecność ogólnej liczby mikroorganizmów na poziomie $> 4 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ związane jest z szybkim psuciem się soku i jego nieprzydatnością do spożycia.

5.5.1. Wyniki badań mikrobiologicznych soku pomidorowego poddanego pasteryzacji

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunkach 4-11 stwierdzono, że średni poziom zanieczyszczenia świeżych prób soku pomidorowego, po pierwszym dniu przechowywania, mezofilnymi drobnoustrojami tlenowymi, bakteriami typu mlekowego, bakteriami z grupy coli oraz drożdżami wynosił odpowiednio: $6,1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, $4,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, $2,4 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, $3,7 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. Podobną liczbę ogólną drobnoustrojów tlenowych ($6,3 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) zanotowano po 4 dniach przechowywania soku w warunkach chłodniczych. W kolejnych dniach ich liczba wzrosła do poziomu $6,5 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ (w 7 dniu badania) i $6,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ (w 10 dniu analiz). Liczba bakterii typu mlekowego po 4 dniach przechowywania była na poziomie $4,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, natomiast odpowiednio po 7 i 10 dniach osiągnęła wartości $4,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, $5,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. Bakterie z grupy coli w 4 dniu przechowywania namnożyły się do poziomu $2,4 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, a w 7 i 10 dniu ich wartość wzrosła jeszcze dodatkowo o $0,3$ i $0,4 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. Podobnie zawartość drożdży zasiedlających sok pomidorowy w 4 dniu przechowywania osiągnęła wartość równą $3,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, natomiast po 7 dniach przechowywania zaobserwowano jej wzrost do $3,9 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. W końcowym etapie przechowywania wykryto ich obecność w ilości $3,9 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$.



Rys. 4. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

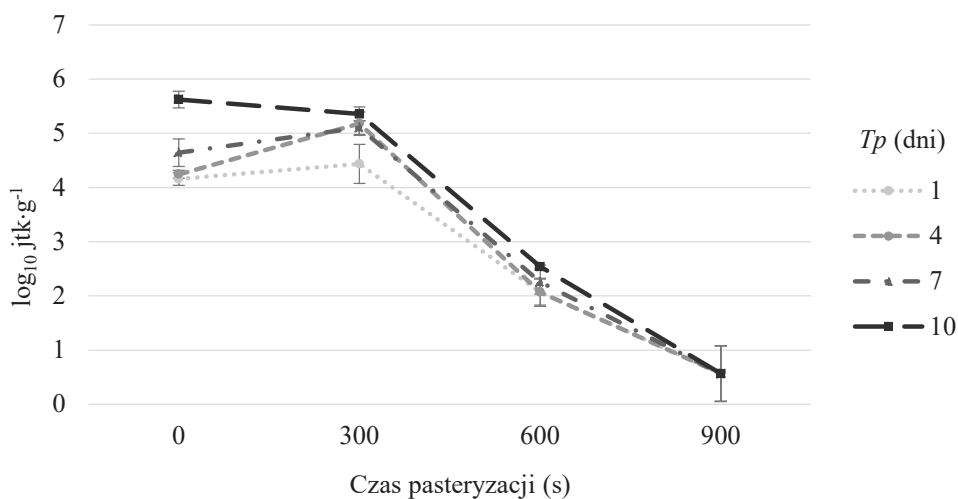


Rys. 5. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

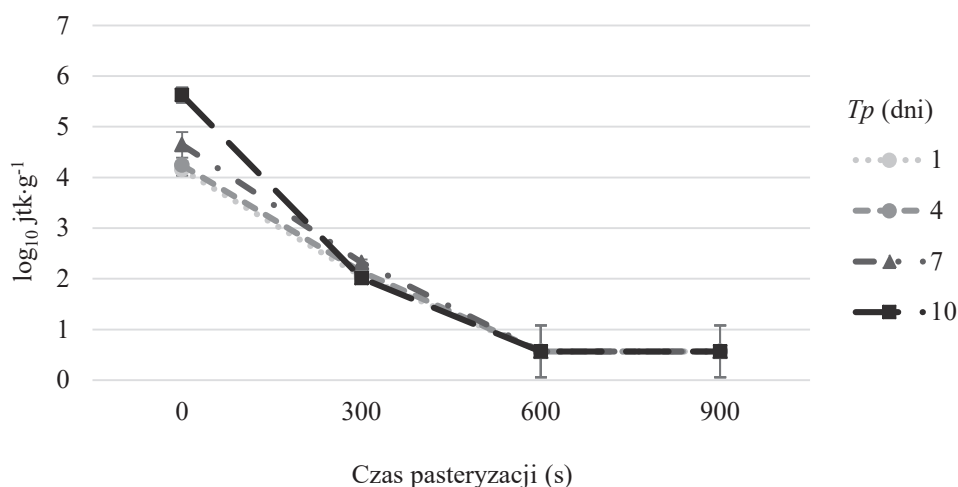
Porównując otrzymane wyniki z posiewów mikrobiologicznych z dopuszczalnymi wartościami zamieszczonymi w regulacjach prawnych odnoszących się do jakości mikrobiologicznej soków pasteryzowanych można stwierdzić, że już pierwszego dnia po wyciśnięciu świeży sok pomidorowy nie spełniał kryteriów przydatności do spożycia, gdyż ogólna liczba mikroorganizmów tlenowych została przekroczona. W świeżym soku nie wykryto bakterii chorobotwórczych. Brakuje natomiast wytycznych dotyczących liczby tlenowych mikroorganizmów niechorobotwórczych w sokach świeżych, niepasteryzowanych. Ich liczba według różnych autorów waha się w szerokich granicach. Biorąc pod uwagę powyższe dane oraz ocenę organoleptyczną, można przyjąć, że pierwszego dnia sok ten nadawał się do spożycia. Różnica w liczbie drobnoustrojów w próbkach soku uzyskiwanych w kolejnych eksperymentach wynikała najprawdopodobniej z liczby drobnoustrojów na powierzchni owoców, czystości procesu wyciskania soku, stopnia zanieczyszczenia powietrza w różnych dniach, itp. Kolejne dni przechowywania powodowały dalszy wzrost ilości drobnoustrojów, co skutkowało nieprzydatnością do spożycia badanego soku pomidorowego. W 10 dniu przechowywania zaobserwowano również pojawienie się pleśni w ilości 2,2 $\log_{10}$ jtk·g⁻¹, co spowodowało, iż próbki nie zostały przebadane pod względem cech fizykochemicznych.

Wyniki z posiewów mikrobiologicznych znalazły swoje odzwierciedlenie w ocenie organoleptycznej (tab. 4).

Proces pasteryzacji soku pomidorowego przyczynił się do eliminacji analizowanych mikroorganizmów, jednak efekt ten był uwarunkowany czasem trwania obróbki cieplnej, jak i zastosowaną temperaturą.



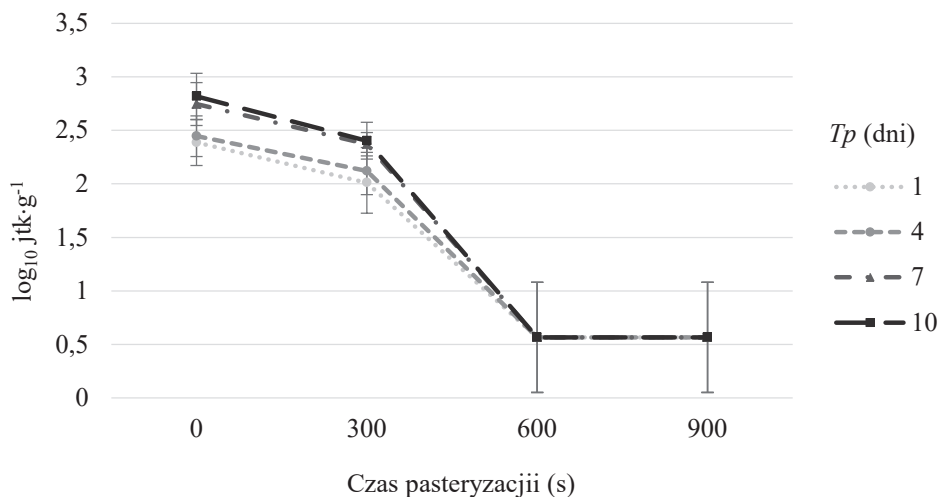
Rys. 6. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 7. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

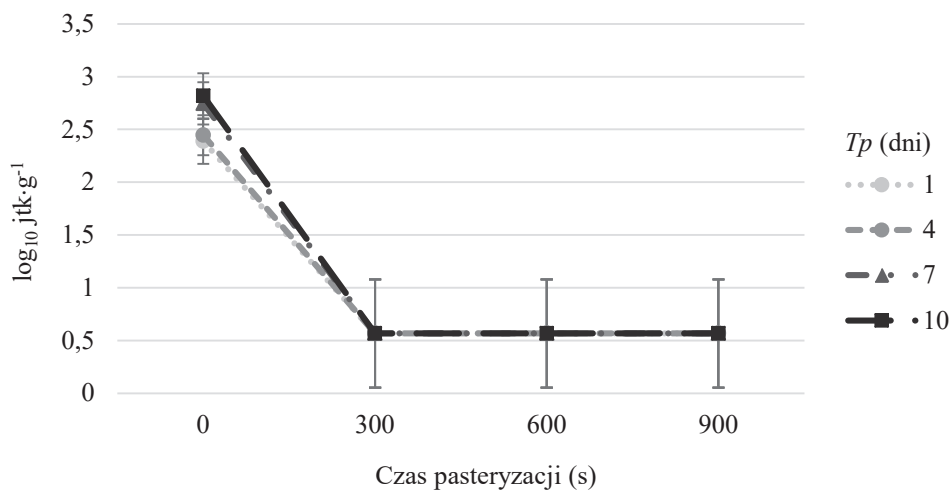
Poddanie soków pomidorowych pasteryzacji w temperaturze 70°C przez 300 s spowodowało niewielki spadek ogólnej liczby mikroorganizmów tlenowych, która to wartość obniżyła się o 0,5-1,1 $\log_{10}$ jtk·g⁻¹ w porównaniu z próbkami kontrolnymi nie poddawany obróbce. Zastosowanie wyższej temperatury obróbki – 90°C skutkowało znacznym spadkiem mezofilnych drobnoustrojów o 2,9-3,4 $\log_{10}$ jtk·g⁻¹ (rys. 4-5). Bakterie kwaszące typu

mlekowego w początkowych dniach przechowywania nieznacznie namnożyły się ($0,3-0,9 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), jednak ich ilość w 10 dniu zmniejszyła się o $0,27 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w stosunku do próby kontrolnej. Temperatura pasteryzacji wynosząca 90°C przyczyniła się natomiast do znacznej redukcji bakterii kwaszących typu mlekowego o $2,1-3,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ (rys. 6-7). Liczba bakterii z grupy coli zmniejszyła się o maksymalnie $0,4 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla temperatury 70°C i $2,3 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ po obróbce w 90°C (rys. 8-9), natomiast liczba drożdży, przedstawiona na rysunku 10-11, spadła o maksymalnie $0,3 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ (70°C) i $2,1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ (90°C). Dane te wskazują, że czas pasteryzacji wynoszący 300 s dla obu zastosowanych temperatur nie przyczynił się w znaczącym stopniu do przedłużenia przydatności do spożycia soku pomidorowego (tab. 4).

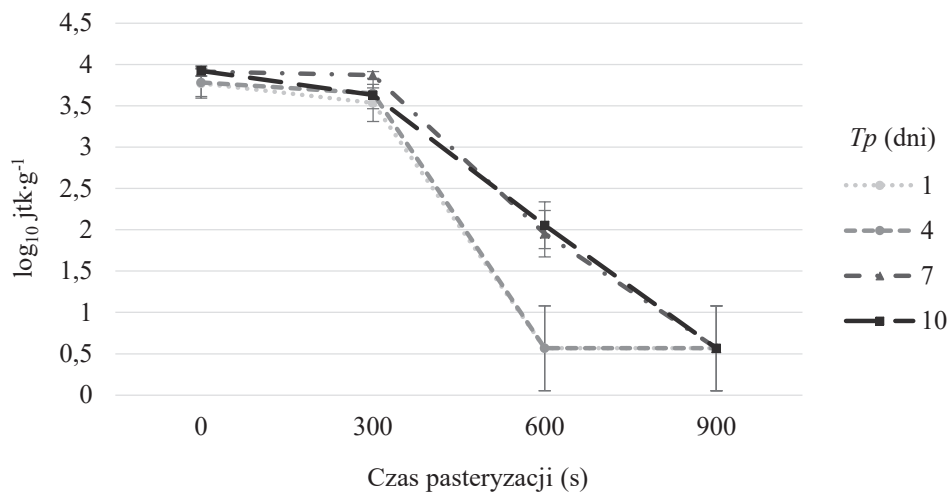


Rys. 8. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

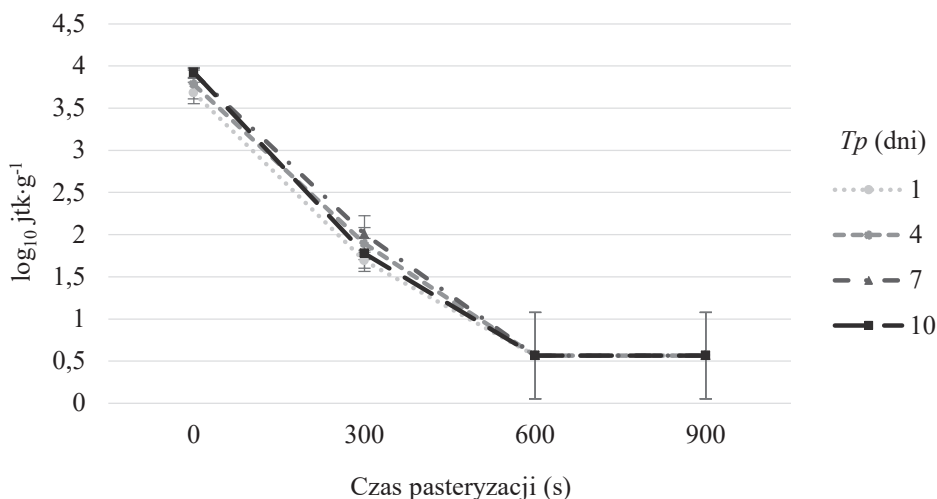
Poddanie próbek soku obróbce cieplnej przez 600 s przyniosło nieco lepsze efekty. Ogólna liczba drobnoustrojów tlenowych spadła o $1,9-3,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, kiedy temperatura pasteryzacji wynosiła 70°C , w porównaniu z próbkami kontrolnymi oraz o $0,5-2,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w temperaturze 90°C . Bakterie kwaszące typu mlekowego przy temperaturze obróbki 70°C zostały zredukowane maksymalnie o $3,1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, zaś wyższa temperatura pasteryzacji pozwoliła na wyeliminowanie ich do niewykrywalnego poziomu. W przypadku bakterii z grupy coli i drożdży, obie zastosowane temperatury spowodowały zahamowanie ich namnażania w trakcie przechowywania (wyjątek stanowiły próbki soku ogrzewane w 70°C i przechowywane przez 7 i 10 dni, wówczas populacja drożdży wyniosła około $2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$). W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż tylko sok pasteryzowany w 90°C mógł być przeznaczony do konsumpcji, natomiast ogrzewanie produktu w 70°C nie przyczyniło się do przedłużenia jego przydatności do spożycia (rys. 4-11, tab. 4).



Rys. 9. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 10. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 11. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

Przy ocenie mikroflory soku pomidorowego pasteryzowanego przez 900 s stwierdzono spadek ilości wszystkich poddanych ocenie drobnoustrojów do niewykrywalnego poziomu ($<1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), stąd jednoznaczny wniosek, że wydłużenie czasu zastosowanej obróbki cieplnej pozwala na poprawę jakości mikrobiologicznej soku pomidorowego i przedłużenie jego przydatności do spożycia do 10 dni (rys. 4-11, tab. 4).

Mimo iż pasteryzacja jest jedną z podstawowych metod stosowanych do wydłużania przydatności do spożycia produktów spożywczych istnieje niewielka liczba publikacji na temat jej wpływu w odniesieniu do czystości mikrobiologicznej przetworów owocowych i warzywnych.

Redukcję drożdży, pleśni, jak również bakterii z grupy *Staphylococcus aureus* zaobserwowali Shailja i in. (2003) w pasteryzowanym soku pomarańczowym przechowywanym przez 7 dni oraz Malletroit i in. (1991) w soku z białych winogron.

Sokołowska i in. (2007) stwierdzili, iż pasteryzacja próbek soku jabłkowego w temperaturze 85°C przez 60 minut spowodowała niewielki spadek termofilnych bakterii przetrwalnikujących. Wyższą redukcję tych mikroorganizmów zaobserwowano dopiero po 20 minutach utrwalaniu produktu w temperaturze 95°C.

Proces pasteryzacji miał również istotny wpływ na redukcję drożdży i pleśni w syropie z kwiatu mniszka lekarskiego (Sobolewska-Zielińska i in., 2014), a także pozwalał przedłużyć okres przydatności do spożycia soku pomarańczowego (Nienaber i Shellhammer, 2001; Nienaber i Shellhammer, 2001; Polydera i in., 2003).

Tabela 4.

Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrabianego cieplnie (kontrola) oraz pasteryzowanego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

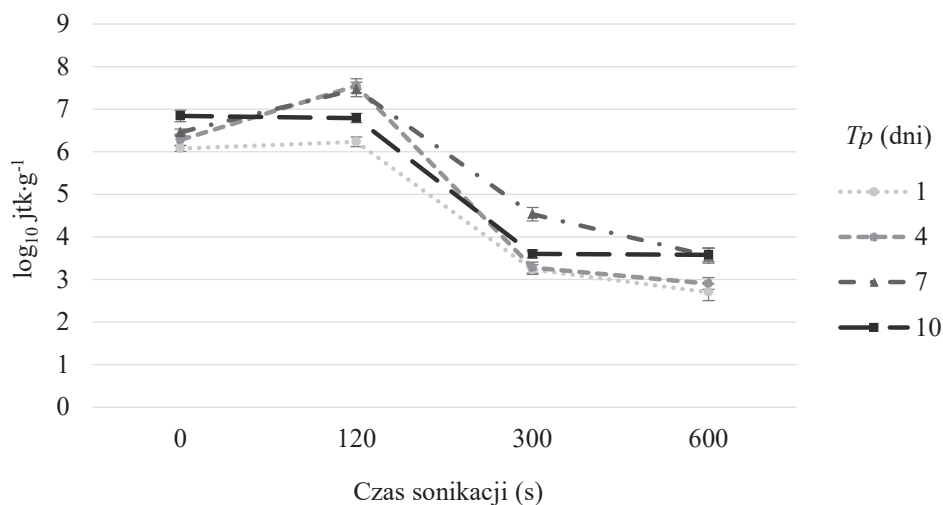
<i>t</i> (s)	<i>T</i> (°C)	<i>T_p</i> (dni)	Ogólna liczba drobnoustrojów tlenowych (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	Drożdże (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> i pleśnie (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	<i>Salmonella</i> i <i>Listeria monocytogenes</i> (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	Przydatność do spożycia
0 (kontrola)		1	6,1	3,8	<1	nb	+/-
		4	6,3	3,8	<1	nb	-
		7	6,5	3,9	<1	nb	-
		10	6,8	3,9	2,2	nb	-
300	70	1	5,0	3,5	<1	nb	+/-
		4	5,4	3,6	<1	nb	-
		7	5,4	3,9	<1	nb	-
		10	6,4	3,6	<1	nb	-
	90	1	3,2	1,7	<1	nb	+/-
		4	3,3	1,9	<1	nb	+/-
		7	3,3	2,0	<1	nb	+/-
		10	3,4	1,8	<1	nb	-
600	70	1	3,8	<1	<1	nb	+/-
		4	3,3	<1	<1	nb	+/-
		7	4,5	2,0	<1	nb	-
		10	3,6	2,1	<1	nb	-
	90	1	<1	<1	<1	nb	+
		4	1,8	<1	<1	nb	+
		7	1,9	<1	<1	nb	+
		10	2,3	<1	<1	nb	+
900	70	1	2,2	<1	<1	nb	+
		4	2,5	<1	<1	nb	+
		7	2,7	<1	<1	nb	+
		10	2,6	<1	<1	nb	+
	90	1	<1	<1	<1	nb	+
		4	<1	<1	<1	nb	+
		7	<1	<1	<1	nb	+
		10	<1	<1	<1	nb	+

nb – nieobecne

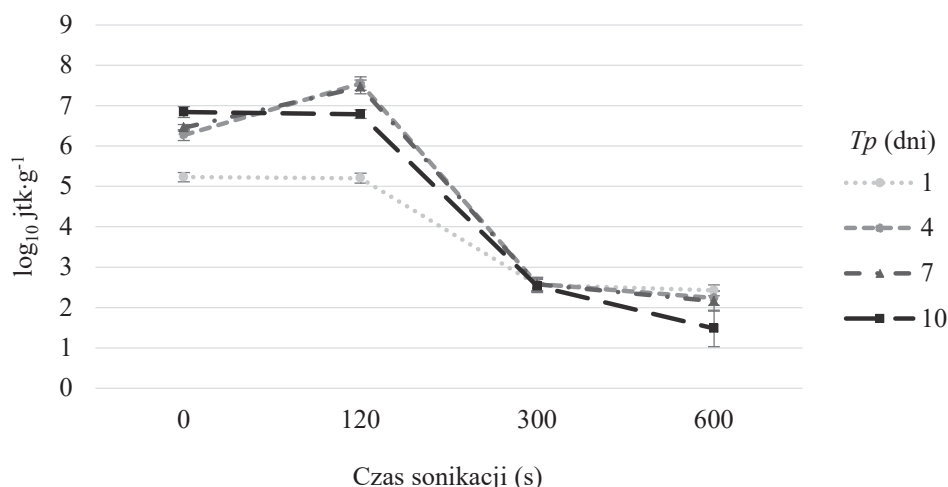
5.1.2. Wyniki badań mikrobiologicznych soku poddanego sonikacji

Na podstawie analiz mikrobiologicznych soku pomidorowego nie poddawanego obróbce, stwierdzono, że jego jakość mikrobiologiczna w pierwszym dniu przechowywania była niezadowalająca. Zanotowano wysoką liczbę drobnoustrojów we wszystkich analizowanych grupach (wyniki dla próby kontrolnej przedstawiono w rozdziale opisującym proces pasteryzacji).

Traktowanie soku pomidorowego przez 120 s ultradźwiękami o natężeniu 28 i 40 W·cm⁻² spowodowało wzrost ogólnej liczby drobnoustrojów, w obu przypadkach o maksymalnie 1,3 log₁₀ jtk·g⁻¹ (rys. 12 i 13). Prawdopodobnie nastąpiła stymulacja namnażania się mikroorganizmów, nie znany jest jednak mechanizm tego zjawiska i wymaga dalszych badań. Przepuszczalnie umiarkowany czas oddziaływania ultradźwięków był zbyt krótki aby uszkodzić błony komórkowe mikroorganizmów w formie wegetatywnej, ale jednocześnie mógł naruszyć strukturę formy przetrwalnikowej pobudzając ją do przejścia w formę wegetatywną. Powszechnie znany jest fakt, że czynniki toksyczne zastosowane w dawkach podprogowych inicjują w komórkach procesy obronne i naprawcze, prowadząc do zwiększenia aktywności procesów metabolicznych, w tym replikacji DNA i do bardziej intensywnego namnażania się komórek. Dla bakterii kwaszących typu mlekowego ultradźwięki o niższym natężeniu spowodowały tylko ich nieznaczną redukcję dopiero w 10 dniu przechowywania, natomiast zastosowanie natężenia wynoszącego 40 W·cm⁻² przyczyniło się do zmniejszenia ich liczby do blisko 3 log₁₀ jtk·g⁻¹ (rys. 14 i 15). W badanym materiale bakterie z grupy coli, dla całego okresu przechowywania i natężenia 28 W·cm⁻², tylko w nieznacznym stopniu uległy redukcji. Dopiero natężenie 40 W/cm² pozwoliło na obniżenie ich ilości o 1,8-2,6 log₁₀ jtk·g⁻¹ (rys. 16 i 17). Niską wrażliwość na działanie ultradźwięków przez 120 s wykazywały drożdże zasiedlające sok pomidorowy. Zastosowana obróbka pozwoliła na ich redukcję o 1,7–3,2 log₁₀ jtk·g⁻¹ (natężenie 28 W·cm⁻²) i 0,3-0,5 log₁₀ jtk·g⁻¹ (natężenie 40 W·cm⁻²) (rys. 18 i 19).



Rys. 12. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym 28 W·cm⁻² na ogólną liczbę drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



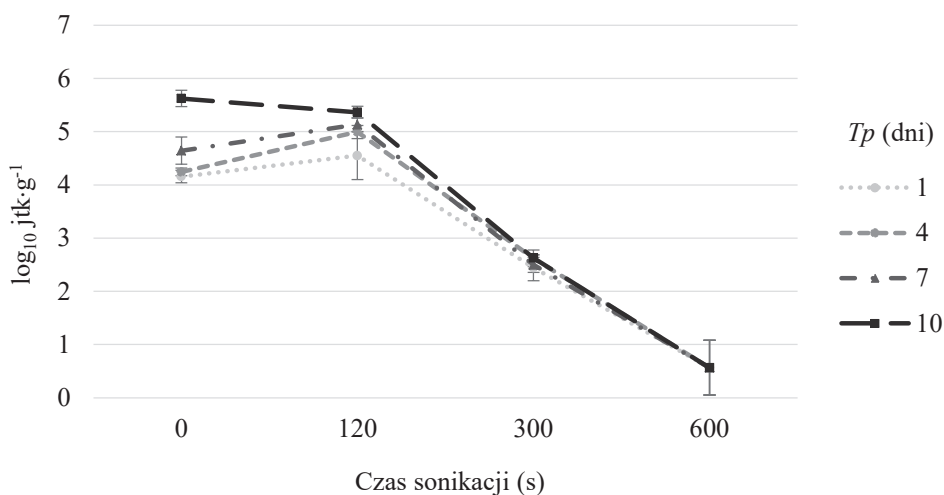
Rys. 13. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na ogólną liczbę drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

Po 300 sekundowej sonikacji największą redukcję ogólnej liczby mikroorganizmów w porównaniu z kontrolą zanotowano po 10 dniach przechowywania próbek. W większości komórek ultradźwięki mogą najprawdopodobniej powodować nieodwracalnie uszkodzenia błon komórkowych prowadzące do szybkiej śmierci komórek na zasadzie nekrozy. Jednak pewna liczba komórek z mniejszymi uszkodzeniami podlega procesom regeneracji i w dalszym ciągu może się namnażać jeśli znajdzie się w optymalnym podłożu z dużą zawartością substancji niezbędnych do pozyskiwania energii (takie podłoże wykorzystywane jest do oznaczania liczby komórek w danej próbce soku). W trakcie przechowywania próbek soku, znajdujące się w nim komórki mikroorganizmów w dalszym ciągu narażone są na działanie zawartych tam substancji szkodliwych, powstałych w wyniku działania ultradźwięków oraz rozpadu licznych komórek, np. reaktywnych form tlenu i azotu. Ponadto, w soku pomidorowym zawartość cukru jest dość niska i może być niewystarczająca dla uruchomienia procesów naprawczych w komórkach z zaburzoną równowagą oksydacyjno-redukcyjną, co w rezultacie prowadzi do śmierci takich komórek na zasadzie apoptozy.

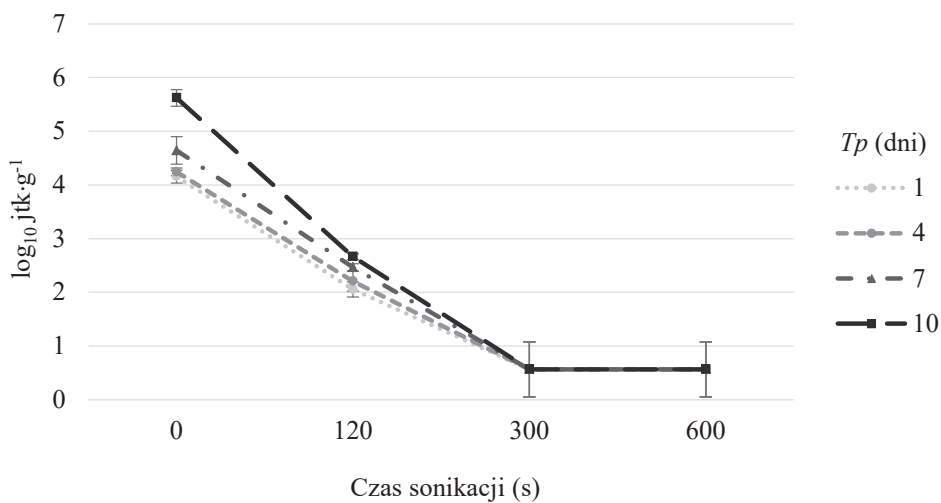
Dla ogólnej liczby drobnoustrojów tlenowych zmniejszenie liczby jednostek tworzących kolonie na 1 log po tym okresie przechowywania wyniosło $3,2 \log_{10} \text{jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla ultradźwięków o natężeniu $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ i $4,3 \log_{10} \text{jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ po zastosowaniu $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ natężenia. Natomiast liczba bakterii kwaszących typu mlekowego została zredukowana o $1,6 - 3,0 \log_{10} \text{jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla natężenia $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ i do poziomu $<1 \log_{10} \text{jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, czyli poniżej granicy oznaczalności, w przypadku natężenia $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. W wyniku przeprowadzonych badań dotyczących bakterii z grupy coli, ich obecność stwierdzono tylko w 4 ($1,7 \log_{10} \text{jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) i 7 ($1,8 \log_{10} \text{jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) dniu chłodniczego przechowywania, gdy sok pomidorowy poddano działaniu ultradźwięków o niższym natężeniu. Drożdże, niezależnie od czasu przechowywania dla obu zastosowanych natężeń znajdowały się poniżej $10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, co oznacza, że były poniżej granicy oznaczalności.

Obserwowana inaktywacja drożdży może wynikać z połączenia mechanizmów fizycznych i chemicznych, które występują podczas sonikacji. Tworzenie wolnych rodników H_2O_2 w komórkach mikroorganizmów pod wpływem sonikacji, wspomagając inaktywację organizmów zostało opisane przez Oyane i in. (2009). Fizyczne efekty tego procesu mogą nie być aż tak skuteczne w przypadku inaktywacji komórek drożdży, ponieważ mają one sztywną ścianę komórkową i nie mogą ulec bezpośredniej destrukcji przez działanie ultradźwięków. Inni autorzy badający wpływ ultradźwięków na komórki drożdży nie obserwowali pęknięcia komórek i uwalniania białek wewnątrzkomórkowych bezpośrednio pod wpływem działania sonikacji (Adekunte i in., 2010). Zapewne pod wpływem ultradźwięków w komórkach drożdży dochodzi do uszkodzenia delikatnych wewnątrzkomórkowych struktur, takich jak np. błony mitochondrialne, co w efekcie prowadzi do zaburzenia równowagi oksydacyjno-redukcyjnej i w dalszym etapie może skutkować indukcją śmierci komórki na zasadzie apoptozy. Zjawisko to może tłumaczyć obserwowany systematyczny spadek liczby mikroorganizmów w soku poddanym sonikacji w kolejnych dniach przechowywania. Większą wrażliwość komórek drożdży zawartych w soku pomidorowym na proces sonikacji, w porównaniu z komórkami bakteryjnymi można uzasadniać tym, że komórki drożdży mają większe zapotrzebowanie na cukier, ze względu na prowadzony przez nie proces fermentacji, który jest mało wydajny energetycznie. W soku pomidorowym zawartość cukru jest niewystarczająca dla ochrony zaburzonych w wyniku sonikacji komórek drożdży przed apoptozą.

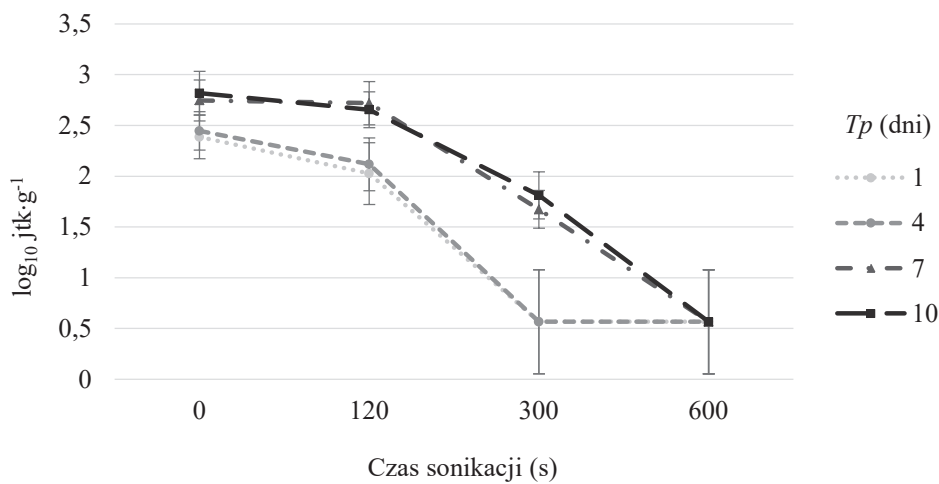
Niestety z powodu zbyt dużej zawartości ogólnej liczby mikroorganizmów tylko produkt sonikowany przy wyższym natężeniu odznaczał się dobrą jakością mikrobiologiczną i mógł być przeznaczony do konsumpcji (rys. 12-19, tab. 5).



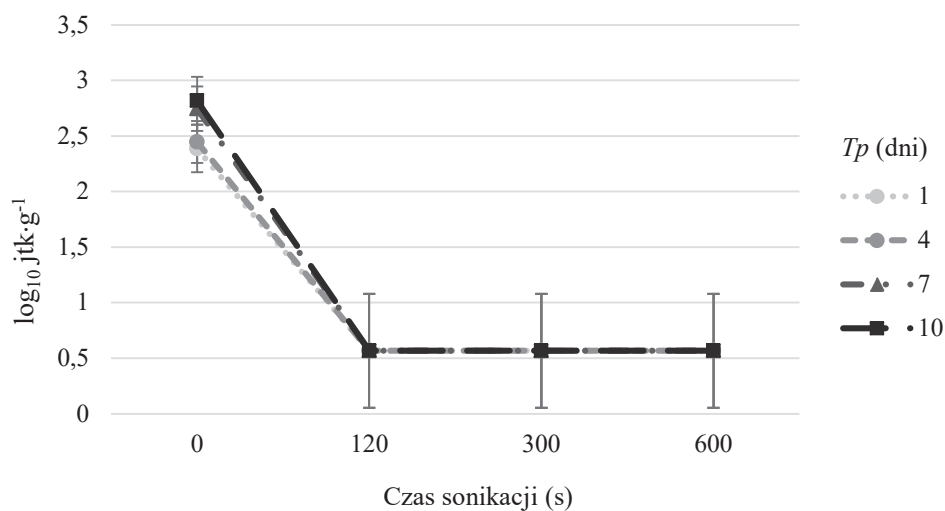
Rys. 14. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



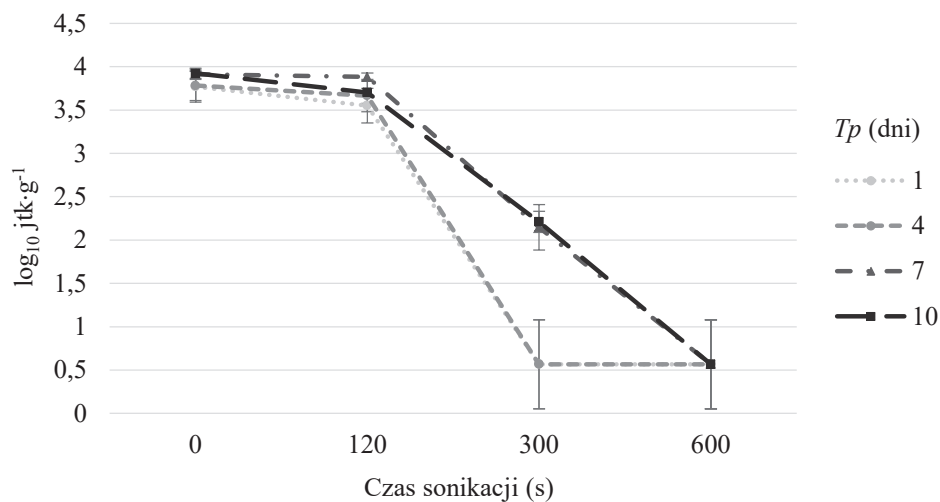
Rys. 15. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 16. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 17. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

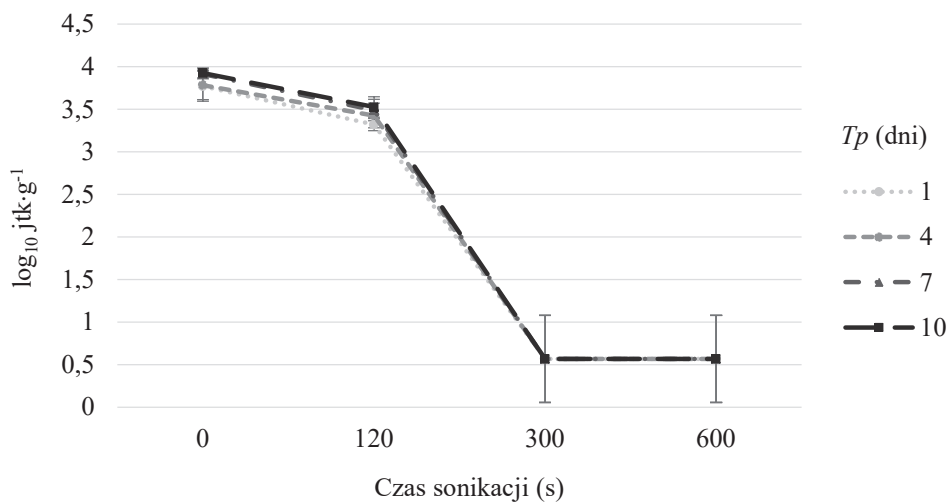


Rys. 18. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

Wydłużenie obróbki ultradźwiękowej do 600 sekund pozwoliło na otrzymanie soku pomidorowego czystego mikrobiologicznie, pozbawionego drobnoustrojów odpowiedzialnych za jego psucie nawet po 10 dniach przechowywania. W porównaniu z próbą kontrolną odnotowano redukcję ogólnej ilości drobnoustrojów o $2,9\text{-}3,4 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ natęż-

nia i $2,8-5,4 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w przypadku natężenia ultradźwięków wynoszącego $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Ilość pozostałych rozpatrywanych mikroorganizmów została zmniejszona do niewykrywalnego poziomu, czyli $<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ (rys. 12-19, tab. 5).

Dzięki odpowiednio dobranym parametrom procesu sonikacji można otrzymać sok pomidorowy charakteryzujący się dobrą, stabilną jakością mikrobiologiczną (tab. 5).



Rys. 19. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

W dotychczasowym, polskim jak i międzynarodowym dorobku naukowym brakuje kompleksowych badań dotyczących skuteczności sonikacji w eliminacji naturalnie występującej mikroflory w soku pomidorowym, odpowiedzialnej za jego psucie. Jak dotąd przeprowadzono nieliczne próby inaktywacji wprowadzonych do produktów patogenów, tj: *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Sacharomyces cerevisiae* w przypadku soku jabłkowego (Gabriel, 2012). W soku pomidorowy zakażonym drożdżami *Pichia fermentans* i poddanym sonikacji (maksymalna temperatura 45°C , czas 10 minut) zaobserwowano ich redukcję o około 7 cykli logarytmicznych (Adekunte, 2012). Natomiast zabieg sonikacji (24 kHz, 400 W) w temperaturze 40°C , 50°C i 60°C przez 10 minut w trybie ciągłym i impulsowym wykonany na soku ananasowym, winogronowym i żurawinowym przyczynił się do znacznej inaktywacji *Saccharomyces cerevisiae* w tych produktach (Bermúdez-Aguirre i in., 2012).

Tabela 5.

Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrabianego cieplnie (kontrola) oraz sonikowanego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

<i>t</i> (s)	<i>I</i> (W·cm ⁻²)	<i>T_p</i> (dni)	Ogólna liczba drobnoustrojów tlenowych (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	Drożdże (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> i pleśnie (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	<i>Salmonella</i> i <i>Listeria</i> <i>monocytogenes</i> (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	Przydatność do spożycia
0 (kontrola)		1	6,1	3,8	<1	nb	+/-
		4	6,3	3,8	<1	nb	-
		7	6,5	3,9	<1	nb	-
		10	6,8	3,9	2,2	nb	-
120	28	1	6,2	3,6	<1	nb	+/-
		4	7,5	3,7	<1	nb	-
		7	7,5	3,9	<1	nb	-
		10	6,8	3,7	<1	nb	-
	40	1	5,2	3,3	<1	nb	+/-
		4	7,5	3,4	<1	nb	-
		7	7,5	3,5	<1	nb	-
		10	6,8	3,5	<1	nb	-
300	28	1	3,2	<1	<1	nb	+
		4	3,3	<1	<1	nb	+
		7	4,5	2,1	<1	nb	-
		10	3,6	2,2	<1	nb	-
	40	1	2,6	<1	<1	nb	+
		4	2,6	<1	<1	nb	+
		7	2,6	<1	<1	nb	+
		10	2,5	<1	<1	nb	+
600	28	1	2,7	<1	<1	nb	+
		4	2,9	<1	<1	nb	+
		7	3,6	<1	<1	nb	+
		10	3,6	<1	<1	nb	+
	40	1	2,4	<1	<1	nb	+
		4	2,2	<1	<1	nb	+
		7	2,2	<1	<1	nb	+
		10	1,5	<1	<1	nb	+

nb – nieobecne

5.1.3. Wyniki badań mikrobiologicznych soku poddanego działaniu zimnej plazmy

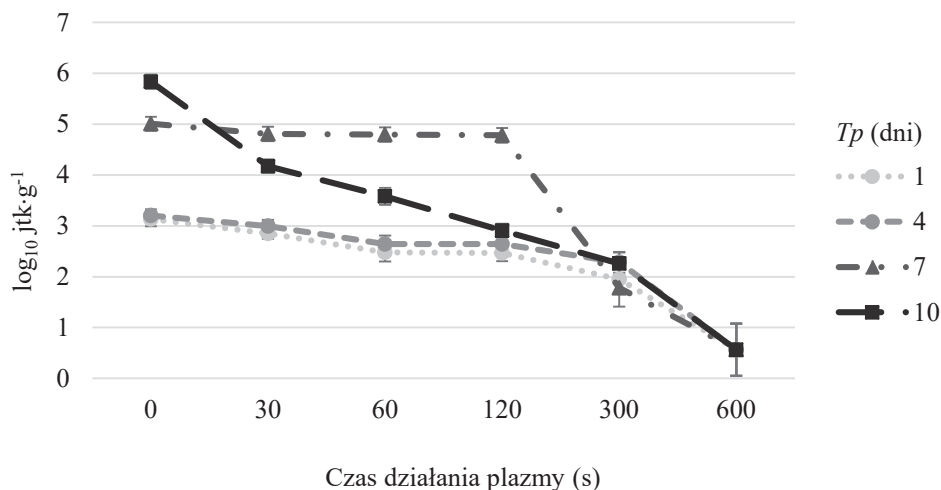
Wyniki badań mikrobiologicznych dotyczące świeżego soku pomidorowego poddanego działaniu zimnej plazmy atmosferycznej z użyciem powietrza i azotu oraz przechowywanego chłodniczo przedstawiono na rysunkach 20-27 oraz tabelach 6 i 7.

W kontrolnych próbkach soku (nie traktowanych plazmą) pierwszego dnia wykryto dość wysoką zawartość mezofilnych drobnoustrojów tlenowych, która kształtowała się na poziomie średnio 3,1 log₁₀ jtk·g⁻¹. Podobną liczbę ogólną drobnoustrojów (3,2 log₁₀ jtk·g⁻¹)

wykryto po 4 dniach przechowywania próbek soku w warunkach chłodniczych. W kolejnych dniach przechowywania liczba ta znacząco wzrosła, na skutek namnażania się drobnoustrojów, do poziomu $5,0 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ po 7 dniach i do $5,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ po 10 dniach przechowywania. W kontrolnych próbkach soku w pierwszym dniu wykryto również obecność bakterii kwaszących typu mlekowego na poziomie $1,9 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, których liczba intensywnie wzrastała w kolejnych dniach przechowywania i osiągnęła wartości $2,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, $3,7 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ oraz $5,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ odpowiednio po 4, 7 i 10 dniach. Bakterie z grupy coli w pierwszym dniu były na bardzo niskim poziomie $0,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, ale namnażały się intensywnie w trakcie przechowywania i osiągnęły poziom $1,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, $2,7 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ oraz $2,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ odpowiednio po 4, 7 i 10 dniach. Podobnie drożdże, w pierwszym dniu obecne w niewielkiej liczbie $0,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, namnożyły się do poziomu $2,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ po 4 i 7 dniach przechowywania, a po 10 dniach ich liczba wzrosła do $3,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. Dodatkowo w 10 dniu przechowywania wykryto pleśń w ilości $2,1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$.

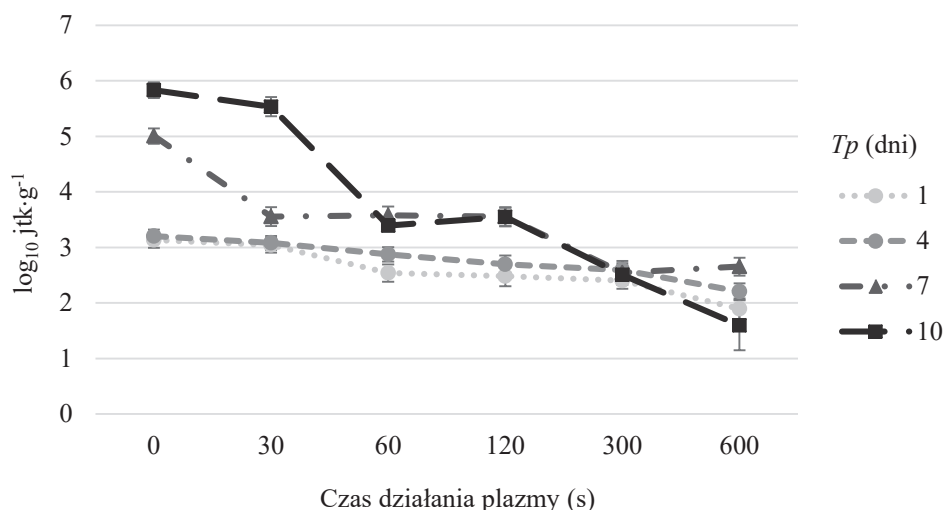
Na podstawie przytoczonych wcześniej (w podrozdziale 5.1.) regulacji prawnych dotyczących jakości mikrobiologicznej soków pasteryzowanych oraz otrzymanych wyników posiewów mikrobiologicznych można stwierdzić, że pierwszego dnia po wyciśnięciu kontrolny sok pomidorowy spełniał kryteria przydatności do spożycia. Po 4 dniach przechowywania w warunkach chłodniczych ogólna liczba mikroorganizmów tlenowych również mieściła się w granicach kryteriów przydatności do spożycia, jednak nadmiernie wzrosła w nim zawartość drożdży. Dłuższy okres przechowywania (7 i 10 dni) powodował dalszy wzrost mikroorganizmów, co czyniło sok nieprzydatnym do spożycia. Wyniki posiewów mikrobiologicznych znalazły również potwierdzenie w ocenie organoleptycznej soku (tab. 6 i 7).

Traktowanie plazmą próbek świeżo wyciśniętego soku pomidorowego okazało się skuteczne w ograniczeniu rozwoju mikroorganizmów, jednak efekt ten wyraźnie uzależniony był od czasu trwania obróbki.

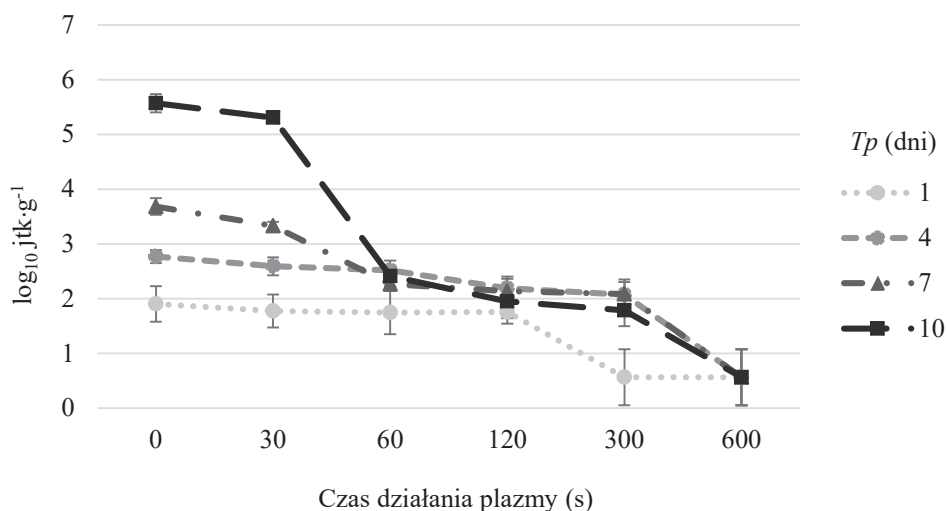


Rys. 20. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

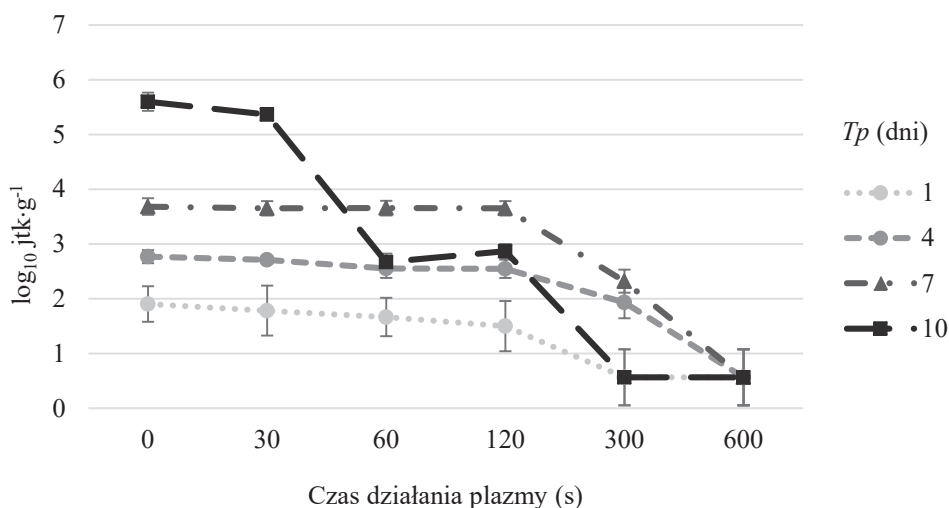
Badania wykazały, że poddanie soku pomidorowego działaniu plazmy przez 30 sekund w niewielkim stopniu przyczyniało się do zmniejszenia ilości mikroorganizmów. Ogólna ilość mikroorganizmów tlenowych w próbkach soku traktowanych plazmą generowaną z użyciem powietrza jako gazu procesowego w poszczególnych dniach przechowywania spadała średnio o 0,2 - 1,6 $\log_{10}$ jtk $\cdot$ g $^{-1}$ w porównaniu z odpowiednimi próbkami kontrolnymi, natomiast w przypadku plazmy generowanej z użyciem azotu o 0,1- 1,4 $\log_{10}$ jtk $\cdot$ g $^{-1}$ (rys. 20-21). Ilość bakterii kwaszających typu mlekowego zmniejszyła się średnio o 0,1-0,3 $\log_{10}$ jtk $\cdot$ g $^{-1}$ dla powietrza i o 0,03-0,2 $\log_{10}$ jtk $\cdot$ g $^{-1}$ dla azotu (rys. 22-23), ilość bakterii z grupy coli maksymalnie 0,9 $\log_{10}$ jtk $\cdot$ g $^{-1}$ dla powietrza i o maksymalnie 0,1 $\log_{10}$ jtk $\cdot$ g $^{-1}$ dla azotu (rys. 24-25), natomiast ilość drożdży spadała o maksymalnie 0,3 $\log_{10}$ jtk $\cdot$ g $^{-1}$ dla powietrza i o 0,2 dla azotu (rys. 26-27). Dane zawarte w tabeli 6 i 7 pokazują, że redukcja mikroorganizmów w rezultacie 30 s traktowania plazmą, zarówno z powietrzem, jak i z azotem nie przyczyniła się w znaczącym stopniu do przedłużenia przydatności soku pomidorowego do spożycia.



Rys. 21. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



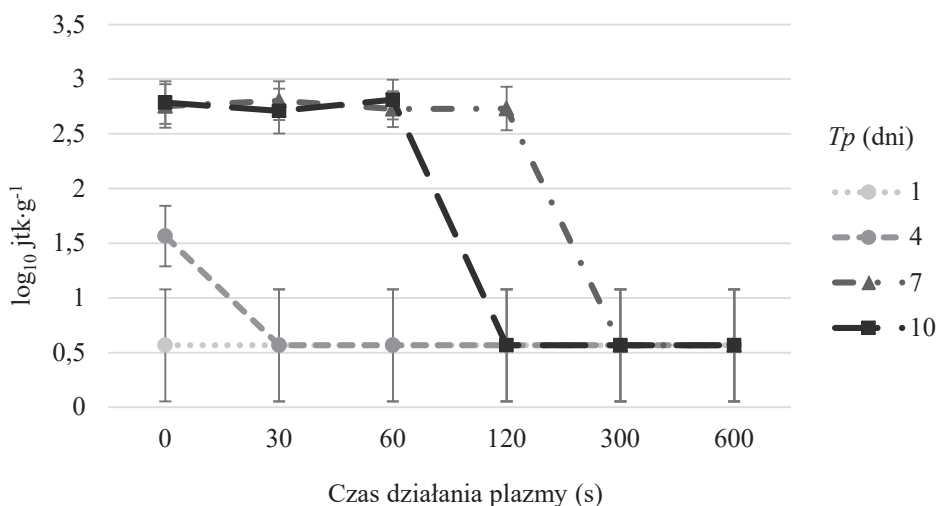
Rys. 22. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 23. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

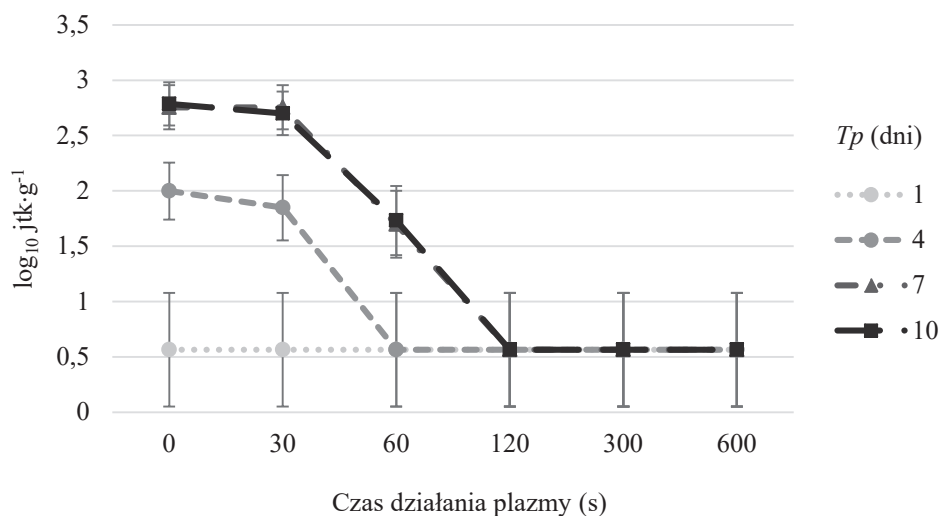
Traktowanie soku pomidorowego przez 60 s plazmą dało nieco lepsze wyniki, ale również nie były one zadowalające pod względem przedłużenia przydatności soku do spożycia. Należy zauważyć, że ze względu na namnażanie mikroorganizmów w kontrolnych prób-

kach soku w trakcie przechowywania i zahamowanie tego namnażania w próbkach traktowanych plazmą, największą redukcję liczby mikroorganizmów stwierdzono po 10 dniach przechowywania. Ogólna liczba mikroorganizmów tlenowych spadła w próbkach traktowanych plazmą przez 60 s, w porównaniu z próbkami kontrolnymi o $0,2-2,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $0,3-2,4$ dla azotu. Liczba bakterii kwaszających typu mlekowego spadła o $0,1-3,1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $0,3-2,4$ dla azotu, liczba bakterii z grupy coli została zredukowana o maksymalnie $0,9 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $1,4 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu, natomiast liczba drożdży o maksymalnie $0,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $1,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu (rys. 20-27, tab. 6 i 7).

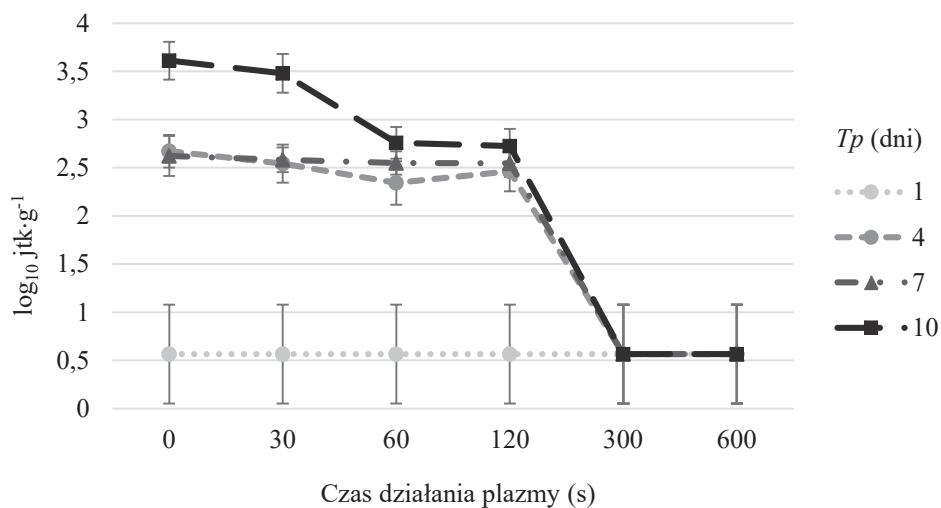


Rys. 24. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

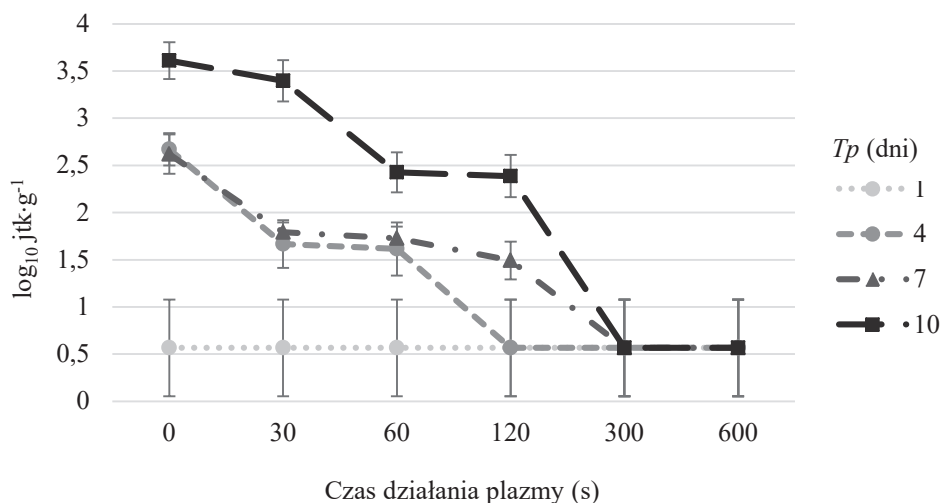
Po 120 sekundowej obróbce zimną plazmą najwyższą redukcję liczby mikroorganizmów zanotowano po 10 dniach przechowywania próbek. Dla ogólnej liczby drobnoustrojów tlenowych zmniejszenie liczby jednostek tworzących kolonie na 1 g po 10 dniach wyniosło $2,9 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla plazmy z powietrzem jako gazem procesowym i $2,3 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla plazmy z azotem jako gazem procesowym. Dla bakterii kwaszających typu mlekowego redukcja ta wyniosła $3,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla plazmy z powietrzem i $2,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla plazmy z azotem, a dla bakterii z grupy coli $2,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i identycznie $2,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu. Zmniejszenie liczby komórek drożdży po 10 dniach przechowywania wyniosło $0,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i $1,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu. 120 sekundowe traktowanie plazmą próbek soku pomidorowego nieznacznie poprawiło czystość mikrobiologiczną soku pomidorowego w porównaniu z kontrolą, ale trudno wyciągnąć tu jednoznaczne wnioski dotyczące przedłużenia jego przydatności do spożycia.



Rys. 25. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 26. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo



Rys. 27. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

Wydłużenie czasu obróbki plazmowej do 300 s dało efekt znacznej poprawy jakości mikrobiologicznej soku pomidorowego i przedłużenie jego przydatności do spożycia do 10 dni przy zastosowaniu plazmy, zarówno z powietrzem, jak i z azotem (biorąc pod uwagę całkowitą liczbę drobnoustrojów tlenowych oraz liczbę drożdży dopuszczalną dla soków pasteryzowanych wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r.). Po 7 dniach przechowywania odnotowano redukcję całkowitej liczby drobnoustrojów tlenowych o $3,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i $0,24 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu, a po 10 dniach osiągnięto redukcję o $3,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $3,3$ dla azotu. Liczba bakterii kwaszących typu mlekowego została zmniejszona o $1,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $1,4 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu po 7 dniach przechowywania i aż o $3,8 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $5,0 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu po 10 dniach przechowywania. Liczba bakterii z grupy coli oraz drożdży, niezależnie od czasu przechowywania dla obu rodzajów gazu zostały zredukowane do poziomu $<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($<1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), co oznacza że były poniżej granicy oznaczalności.

Wydłużenie czasu obróbki zimną plazmą do 600 s pozwoliło na przedłużenie okresu przydatności do spożycia niepasteryzowanego soku pomidorowego do 10 dni, przy jeszcze większej redukcji liczby mikroorganizmów w porównaniu z 300-sekundowym czasem jej działania. Ogólna liczba drobnoustrojów została zredukowana do poziomu $<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($<1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), tzn. poniżej granicy oznaczalności dla plazmy z powietrzem i do poziomu $1,6 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ po 10 dniach przechowywania dla plazmy z azotem. Natomiast liczba bakterii typu mlekowego, bakterii z grupy coli oraz drożdży została zredukowana dla obu rodzajów gazu do poziomu $<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($<1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), tzn. poniżej granicy oznaczalności. Po 10 dniach przechowywania odnotowano redukcję ogólnej liczby drobnoustrojów w porównaniu z kontrolą o $5,3 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla powietrza i o $4,2 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ dla azotu,

natomiast liczba bakterii kwaszących typu mlekowego została zredukowana o 5,0 $\log_{10}$ jtk·g⁻¹ dla obu rodzajów gazu (rys. 20-27, tab. 6 i 7).

Zrealizowane badania nie wykazały jednoznacznego trendu korzystniejszego działania powietrza lub azotu jako gazu procesowego.

Na podstawie uzyskanych wyników można wyciągnąć wniosek, że zimna plazma atmosferyczna generowana w urządzeniu Glidearc, stosowana przez czas 300-600 s ma wysoki potencjał w dekontaminacji mikroorganizmów naturalnie zanieczyszczających sok pomidorowy i może być stosowana w celu przedłużenia jego przydatności do spożycia.

Tabela 6.

Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrobionego cieplnie (kontrola) oraz traktowanego zimną plazmą atmosferyczną, z użyciem powietrza jako gazu procesowego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

<i>t</i> (s)	<i>T_p</i> (dni)	Ogólna liczba drobnoustrojów tlenowych ($\log_{10}$ jtk·g ⁻¹)	Drożdże ($\log_{10}$ jtk·g ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> i pleśnie ($\log_{10}$ jtk·g ⁻¹)	<i>Salmonella</i> i <i>Listeria</i> <i>monocytogenes</i> ($\log_{10}$ jtk·g ⁻¹)	Przydatność do spożycia
0 (kontrola)	1	3,1	<1	<1	nb	+
	4	3,2	2,6	<1	nb	+/-
	7	5,0	2,6	<1	nb	-
	10	5,8	3,6	2,1	nb	-
30	1	2,8	<1	<1	nb	+
	4	2,9	2,5	<1	nb	+/-
	7	4,8	2,6	<1	nb	-
	10	4,2	3,5	<1	nb	-
60	1	2,5	<1	<1	nb	+
	4	2,6	2,3	<1	nb	+/-
	7	4,8	2,5	<1	nb	-
	10	3,6	2,7	<1	nb	-
120	1	2,5	<1	<1	nb	+
	4	2,6	2,5	<1	nb	+/-
	7	4,8	2,5	<1	nb	-
	10	2,9	2,7	<1	nb	+/-
300	1	1,9	<1	<1	nb	+
	4	2,3	<1	<1	nb	+
	7	1,8	<1	<1	nb	+
	10	2,2	<1	<1	nb	+
600	1	<1	<1	<1	nb	+
	4	<1	<1	<1	nb	+
	7	<1	<1	<1	nb	+
	10	<1	<1	<1	nb	+

nb - nieobecne

Tabela 7.

Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrobionego cieplnie (kontrola) oraz traktowanego zimną plazmą atmosferyczną, z użyciem azotu jako gazu procesowego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

<i>t</i> (s)	<i>T_p</i> (dni)	Ogólna liczba drobnoustrojów tlenowych (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	Drożdże (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> i pleśnie (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	<i>Salmonella</i> i <i>Listeria</i> <i>monocytogenes</i> (log ₁₀ jtk·g ⁻¹)	Przydatność do spożycia
0 (kontrola)	1	3,1	<1	<1	nb	+
	4	3,2	2,6	<1	nb	+/-
	7	5,0	2,6	<1	nb	-
	10	5,8	3,6	2,1	nb	-
30	1	3,0	<1	<1	nb	+
	4	3,1	1,7	<1	nb	+/-
	7	3,5	1,8	<1	nb	-
	10	5,5	3,4	<1	nb	-
60	1	2,5	<1	<1	nb	+
	4	2,9	1,6	<1	nb	+/-
	7	3,6	1,7	<1	nb	-
	10	3,4	2,4	<1	nb	-
120	1	2,5	<1	<1	nb	+
	4	2,7	<1	<1	nb	+
	7	3,5	1,5	<1	nb	-
	10	3,5	2,4	<1	nb	-
300	1	2,4	<1	<1	nb	+
	4	2,6	<1	<1	nb	+
	7	2,5	<1	<1	nb	+
	10	2,5	<1	<1	nb	+
600	1	1,9	<1	<1	nb	+
	4	2,2	<1	<1	nb	+
	7	2,6	<1	<1	nb	+
	10	1,6	<1	<1	nb	+

nb - nieobecne

Podobne wyniki zostały opisane w nielicznych dostępnych publikacjach (Surowsky i in., 2014; Xu i in., 2017; Pankaj i in., 2017; Dasan i in., 2018; Liao i in., 2018) jednak dotyczą one soków pasteryzowanych, dostępnych w sprzedaży, które przed poddaniem ich działaniu zimnej plamy zakażane były patogenną mikroflorą. W przytoczonych artykułach naukowych tylko kilku autorów analizuje wpływ tej techniki obróbki na właściwości fizykochemiczne poddawanych utrwalaniu produktów.

W soku pomidorowym poddanym działaniu zimnej plazmy najwyższą redukcję liczby mikroorganizmów, w porównaniu z kontrolą, odnotowano po 10 dniach jego przechowywania. Wynik ten wynika z faktu, że w próbkach kontrolnych mikroorganizmy namnażały się podczas przechowywania, natomiast w próbkach traktowanych plazmą ich liczba spadała w trakcie przechowywania.

Zjawisko stopniowej inaktywacji mikroorganizmów podczas kolejnych godzin przechowywania soku jabłkowego potraktowanego zimnym powietrzem atmosferycznym zostało opisane przez Surowsky i in. (2014) dla *Citrobacter freundii*. Cytowani autorzy zaobserwowali bardzo niskie wskaźniki inaktywacji tej bakterii – około 1 cykl logarytmiczny po 480 s ekspozycji na plazmę. Dla porównania, 3-godzinne czasy przechowywania skutkowały redukcją cyklu o 4,4 log. Natomiast dalsze wydłużenie czasu przechowywania do 24 godzin doprowadziło do zmniejszenia się *Citrobacter freundii* w badanych produktach o około 5,1 cykli logarytmicznych.

Inaktywacja mikroorganizmów w poddanych działaniu zimnej plazmy materiałach biologicznych podczas przechowywania może być spowodowana generowaniem aktywnych składników przeciwdrobnoustrojowych, takich jak nadtlenek wodoru (H_2O_2), rodniki wodoronadtlenkowe ($OOH\cdot$), nadtlendioazotan (III) ($ONOO^-$) i ich pochodnych oraz dalsze aktywne produkty ich reakcji, które mają dłuższy okres półtrwania, w porównaniu z rodnikami $OH\cdot$ i $O_2^{\cdot-}$, i pozostają nadal aktywne w soku poddanym działaniu plazmy (Ikawa i in., 2010; Surowsky i in., 2014; Brisset i Pawłat, 2015; Lu i in., 2016). Ponadto, sok pomidorowy ma niską zawartość cukrów, które są niezbędne dla komórek do wywoływania skutecznych mechanizmów obronnych przeciwko stresowi oksydacyjnemu powodowanemu przez aktywne składniki plazmy. Brak wystarczającego źródła energii, np. cukrów, może powodować przyspieszoną śmierć komórek drobnoustrojów dodatkowo osłabionych przez działanie zimnej plazmy atmosferycznej.

5.2. Charakterystyka właściwości fizykochemicznych

Wymagania surowcowe oraz jakościowe dotyczące soków warzywnych oraz owocowo-warzywnych są zawarte w normie PN-A-75958 (2002). *Produkty warzywne i owocowo-warzywne. Soki*. Informacje w niej zamieszczone są na tyle mało szczegółowe, że na rynek polski trafia cały asortyment produktów, charakteryzujący się bardzo zróżnicowaną jakością, głównie pod względem cech fizykochemicznych, co w pewnym stopniu ma przełożenie na cechy sensoryczne.

Dlatego też, wyniki analizy parametrów fizycznych i chemicznych soków należy sprawdzać z wytycznymi kodeksu praktyki AIJN (*European Fruit Juice Association*). Początkowo został on stworzony w celu sprecyzowania wymagań dotyczących jakości soków owocowych, jednak z czasem (w wyniku wzrostu udziału w sektorze sprzedaży soków warzywnych) zawarł w swojej treści również dane na temat soków pomidorowych i marchwiowych. Dokument ten zawiera zbiór minimalnych i maksymalnych zakresów wartości fizykochemicznych, które były zbierane podczas długich lat doświadczeń i pochodzą ze źródeł o sprawdzonej autentyczności, pobieranych niezależnie przez ekspertów *in situ* i analizowanych przez zatwierdzone laboratoria stosujące wiarygodne metody analityczne. Jednak dostępne w obu dokumentach dane wskazują jedynie, że sok pomidorowy powinien charakteryzować się $pH \leq 4,4$ (wg PN) oraz $\leq 4,5$ (wg wytycznych kodeksu praktyki). Pozostałe parametry jakościowe dla soku pomidorowego można porównywać tylko z wynikami innych autorów, zamieszczonymi w publikacjach naukowych.

Jednak w dostępnej literaturze przedmiotu nie ma szczegółowych informacji na temat analiz podobnych do tych, które zostały przeprowadzone w niniejszej pracy dla soku pomidorowego. Dlatego też, odniesiono się do kilku wyników opublikowanych w dostępnych

źródła dla badanego produktu, jak i dla innych owoców i warzyw oraz uzyskanych z nich soków.

Świeżo otrzymany sok pomidorowy (surowy sok, próba kontrolna), zaraz po wytlóczeniu charakteryzował się następującymi wartościami właściwości fizykochemicznych: sucha substancja – $4,33 \pm 0,02\%$; pH – $3,93 \pm 0,06$; substancje rozpuszczalne – $3,65 \pm 0,07^\circ\text{Bx}$; karotenoidy ogółem – $89,25 \pm 0,35 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$; likopen – $77,10 \pm 0,57 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$; witamina C – $283,60 \pm 2,26 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$

5.2.1. Właściwości fizykochemiczne pasteryzowanego soku pomidorowego

Wyniki pomiaru wpływu pasteryzacji na wartości badanych parametrów przedstawiono w tabelach od 8-19.

Zawartość suchej substancji w surowym soku pomidorowym w pierwszym dniu przechowywania (4,32%) różniła się statystycznie istotnie od produktu poddanego pasteryzacji w 90°C przez 900 s (4,49%). W 4 i 7 dniu przechowywania również zaobserwowano istotny wpływ czasu obróbki, jak i jej temperatury na badaną cechę (w przedziale istotności przy $p < 0,05$). Wydłużenie czasu przechowywania soku pomidorowego spowodowało nieznaczny wzrost suchej substancji, jednak nie były to różnice istotne statystycznie (tab. 8 i 9).

Analizy przeprowadzone przez Hallmann i Rembiałkowską (2008) pokazują, iż zawartość suchej substancji w soku pomidorowym jest zależna od odmiany pomidorów i metod ich produkcji. Jak wynika z cytowanej pracy świeży ekologiczny sok przecierowy charakteryzował się wyższą zawartością suchej substancji, w porównaniu z produktem otrzymanym z owoców pochodzących z uprawy konwencjonalnej. Wyższe wartości tej cechy zanotowano w przypadku odmiany Koralik – $11,70 \text{ g} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$, niż odmiany Gigant – $4,29 \text{ g} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$

Tabela 8.

Wpływ parametrów pasteryzacji na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Sucha substancja s.s. (%)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas pasteryzacji t (s)	Temperatura soku T ($^\circ\text{C}$)	1	4	7	10
0 (kontrola)		$4,32 \pm 0,01a$	$4,34 \pm 0,02a$	$4,39 \pm 0,03a$	nie oznaczono
300	70	$4,42 \pm 0,04a$	$4,42 \pm 0,06a$	$4,43 \pm 0,03a$	$4,47 \pm 0,01a$
600		$4,46 \pm 0,01a$	$4,45 \pm 0,00a$	$4,46 \pm 0,01a$	$4,47 \pm 0,04a$
900		$4,47 \pm 0,01a$	$4,48 \pm 0,01a$	$4,49 \pm 0,01a$	$4,51 \pm 0,04a$
300	90	$4,44 \pm 0,04a$	$4,45 \pm 0,01a$	$4,46 \pm 0,04a$	$4,45 \pm 0,01a$
600		$4,48 \pm 0,01a$	$4,46 \pm 0,01a$	$4,49 \pm 0,01a$	$4,49 \pm 0,00a$
900		$4,49 \pm 0,01a$	$4,48 \pm 0,01a$	$4,49 \pm 0,00a$	$4,53 \pm 0,04a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $< 0,05$

Tabela. 9.

Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Sucha substancja (%)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$T\ 70^{\circ}\text{C}$	0,29	0,14	0,41
		$T\ 90^{\circ}\text{C}$	0,04*	0,10	0,04*
		$t\ 300\ \text{s}$	1,00	1,00	1,00
		$t\ 600\ \text{s}$	0,19	0,55	0,44
		$t\ 900\ \text{s}$	0,04*	0,02*	0,06

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Wyniki uzyskane przez Hallman i in. (2011) wskazują, że zawartość suchej substancji w końcowym produkcie istotnie zależy od parametrów procesu pasteryzacji. W sokach marchwiowych poddanych obróbce termicznej (temperatura $92\text{--}93^{\circ}\text{C}$, czas 20 minut) stwierdzono istotnie więcej suchej substancji w porównaniu z sokami świeżymi. Nie zanotowano różnic w zawartości suchej substancji pomiędzy sokami ekologicznymi i konwencjonalnymi oraz pomiędzy produktami przygotowanymi z różnych odmian marchwi.

Wyniki uzyskane przez Nawirską-Olszańską i in. (2012) dotyczące pasteryzowanych przecierów, soków przecierowych i mętnych na bazie owoców dyni dowodzą również, że zawartość suchej substancji zmienia się wraz z czasem przechowywania. W analizowanych przetworach jej zawartość wahała się od 7,33% do 10,48%, a po przechowywaniu w większości próbkach nieznacznie wzrosła. Większy przyrost wartości tej cechy stwierdzono w przypadku przechowywania w warunkach chłodniczych, niż w temperaturze 30°C .

Natomiast w badaniach Skupień i in. (2005), nad składem homogenizowanych truskawek z dodatkiem cukru stwierdzono po 6 miesiącach nieznaczny ubytek suchej substancji, natomiast po 12 miesiącach jej zwiększenie.

Soki pomidorowe są zaliczane do produktów kwaśnych. Dzięki temu mogą być one w łatwy sposób utrwalane, z wykorzystaniem pasteryzacji, nawet w warunkach domowych. Oznaczona wartość pH surowego soku pomidorowego wynosiła 3,88 i była zgodna z wymogami normy PN-A-75958:2002 i wytycznymi kodeksu praktyki AIJN. Nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic między próbą kontrolną z pierwszego dnia (3,93), a sokiem przechowywanym chłodniczo przez 4 dni (3,95). Wystąpiły one dopiero po 7 dniach przechowywania (4,04), natomiast produkt w 10 dniu uległ zepsuciu z powodu pojawienia się pleśni (tab. 10). Zwiększanie kwasowości soku pomidorowego świadczy o obecności bakterii, które wykorzystując cukry obecne w produkcie (głównie sacharozę), produkują kwas mlekowy i inne metabolity, wpływające na jego jakość sensoryczną (zwiększając intensywność nuty kwaśnej i mleczno-fermentacyjnej w smaku) (Garro i in., 1999).

Tabela 10.

Wpływ parametrów pasteryzacji na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

		Kwasowość K_w (pH)			
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas pasteryzacji t (s)	Temperatura soku T (°C)	1	4	7	10
0 (kontrola)		3,93 ± 0,06a	3,95 ± 0,07ab	4,04 ± 0,06b	nie oznaczono
300	70	4,30 ± 0,00a	4,33 ± 0,03a	4,48 ± 0,00b	4,49 ± 0,01b
600		4,30 ± 0,01a	4,49 ± 0,01a	4,48 ± 0,00a	4,74 ± 0,34a
900		4,38 ± 0,01a	4,51 ± 0,02a	4,71 ± 0,32a	4,74 ± 0,32a
300	90	4,46 ± 0,01a	4,44 ± 0,05a	4,46 ± 0,01a	4,54 ± 0,04a
600		4,47 ± 0,02a	4,44 ± 0,04a	4,46 ± 0,04a	4,56 ± 0,03a
900		4,47 ± 0,02a	4,43 ± 0,08a	4,53 ± 0,05a	4,58 ± 0,02a

Wyniki wyrażono jako średnią ± błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności <0,05

Tabela. 11.

Wyniki dotyczące kwasowości: p -wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwasowość (pH)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		T 70°C	0,72	0,07	0,07
		T 90°C	0,01*	0,19	0,19
		t 300 s	0,72	1,00	1,00
		t 600 s	0,35	0,16	0,59
		t 900 s	0,11	0,08	0,01*

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności <0,05

W soku poddanym pasteryzacji i przechowywanym przez jedną dobę, pH było nieznacznie wyższe niż w soku nie poddanym obróbce cieplnej, szczególnie w przypadku produktu utrwalanego w temperaturze 90°C (statystycznie istotne różnice; przy $p < 0,05$), gdzie badana wartość po 900 s pasteryzacji wzrosła do 4,53 (tab. 11).

Zbliżone wyniki otrzymał Charles-Rodríguez (2007), który stwierdził, że sok jabłkowy poddany obróbce termicznej wykazywał wzrost pH od 3,8 do 4,1, który był bezpośrednio związany z temperaturą procesu (pasteryzacja 85°C przez 27 sekund).

Z drugiej strony Cortés i in. (2008) po zabiegach pasteryzacji zaobserwowali nieznaczny spadek wartości pH soku pomarańczowego ($3,32 \pm 0,01$) w odniesieniu do pH produktu nie poddanego obróbce ($3,35 \pm 0,00$).

W tabeli 12 i 13 przedstawiono zmiany zawartości substancji rozpuszczalnych w pasteryzowanych sokach pomidorowych w czasie ich przechowywania. Stwierdzono, że czas pasteryzacji nie był czynnikiem różnicującym badaną cechę, zarówno w przypadku próby kontrolnej, jak i produktów poddanych pasteryzacji. Po procesie pasteryzacji przeprowadzonym w niższej temperaturze (70°C) nie stwierdzono zmian w zawartości substancji

rozpuszczalnych w próbkach soku pomidorowego. Natomiast podwyższenie temperatury procesu do 90°C spowodowało statystycznie istotne obniżenie ($p=0,03$) zawartości substancji rozpuszczalnych w produkcie (w pierwszym dniu przechowywania zawartość substancji rozpuszczalnych w surowym soku pomidorowym wynosiła 3,65°Bx, a po 900 s obróbki w tej temperaturze obniżyła się o ponad 20%).

Tabela 12.

Wpływ parametrów pasteryzacji na zawartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość substancji rozpuszczalnych Z_{sc} (°Bx)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas pasteryzacji t (s)	Temperatura soku T (°C)	1	4	7	10
0 (kontrola)		3,65 ± 0,07a	3,60 ± 0,00a	3,50 ± 0,00a	nie oznaczono
300	70	3,10 ± 0,00a	3,10 ± 0,00a	3,35 ± 0,07b	3,25 ± 0,07ab
600		3,05 ± 0,07a	3,10 ± 0,14a	3,35 ± 0,07a	3,30 ± 0,00a
900		3,05 ± 0,07a	3,15 ± 0,07a	3,20 ± 0,14a	3,35 ± 0,07a
300	90	3,05 ± 0,07a	3,00 ± 0,00a	3,15 ± 0,07a	3,05 ± 0,07a
600		3,00 ± 0,00a	3,05 ± 0,07a	3,05 ± 0,07a	2,95 ± 0,07a
900		2,90 ± 0,00a	3,05 ± 0,07a	2,95 ± 0,07a	2,90 ± 0,00a

Wyniki wyrażono jako średnią ± błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności <0,05

Tabela 13.

Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Zawartość substancji rozpuszczalnych (°Bx)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		T 70°C	0,39	0,39	0,61
		T 90°C	0,03*	0,03*	0,01*
		t 300 s	1,00	0,16	0,83
		t 600 s	0,27	0,29	0,44
		t 900 s	0,08	0,63	0,07

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności <0,05

Cortés i in. (2008) stwierdzili, że pasteryzacja nie miała wpływu na zawartość substancji rozpuszczalnych w soku pomarańczowym. Pomiedzy próbą kontrolną (3,35°Bx), a poddaną obróbce cieplnej (3,32°Bx) nie wystąpiły statystycznie istotne różnice w wartościach tej cechy. Zawartość substancji rozpuszczalnych utrzymywała się również na stałym poziomie w czasie przechowywania w warunkach chłodniczych przez 7 dni.

Podobne zależności zostały opisane przez Torregrosa i in. (2006) w przypadku soku pomarańczowo-marchwiowego oraz soku pomarańczowego (Ayhan i in. 2001) przechowywanego przez 112 dni w temperaturze 2°C i 22°C.

Zawartość karotenoidów w świeżym soku pomidorowym w pierwszym dniu przechowywania wynosiła $90,50 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$ Proces pasteryzacji przeprowadzony w temperaturze wynoszącej 90°C przez 300 s przyczynił się do wzrostu zawartości tych barwników do wartości $101,40 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$, jednak wynik testu Kruskala-Wallisa nie wykazał statystycznie istotnych różnic (tab. 15). Prawdopodobnie ma to związek z uszkodzeniem błon komórkowych i uwolnieniem karotenoidów z kompleksów białkowych, co przekłada się na możliwość ekstrakcji większej ich ilości, niż z nieprzetwarzanych termicznie produktów roślinnych (Gryszczyńska i in., 2011). Natomiast obróbka przeprowadzona w tej samej temperaturze, ale przez dłuższy okres, czyli 900 s spowodowała ich spadek o $5,38 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$ Czas przechowywania wynoszący 10 dni, tylko w przypadku wyższej temperatury i czasu obróbki 600 i 900 s, wpłynął na obniżenie zawartości karotenoidów ogółem w próbach poddanych analizie (tab. 14).

Oprócz zastosowania wysokiej temperatury do pasteryzacji na zmiany zawartości oraz izomeryzację karotenoidów (ubywa izomerów *trans*, a pojawiają się izomery *cis*), wydłużenie czasu przechowywania próbek soków przyczynia się do degradacji tych barwników w produkcie (Chen i in., 1996; Marx i in., 2003).

Odriozola-Serrano i in. (2009) badali wpływ przechowywania pasteryzowanego soku pomidorowego na ogólną zawartość karotenoidów. Wyniki jakie uzyskali dowodzą, iż obróbka cieplna w zbyt wysokiej temperaturze oraz długi czas przechowywania wyrobu przyczyniają się do spadku zawartości karotenoidów.

Czarniecka-Skubina i in. (1997) oznaczając sumę karotenoidów między innymi w marchwi apertyzowanej „Bonduelle”, uzyskali wynik na poziomie $22 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g}$, która to zawartość po 4 miesięcznym przechowywaniu również obniżyła się do poziomu $20,5 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g}$.

Chen i in. (1995) prowadząc badania nad zmianą zawartości karotenoidów w pasteryzowanym soku z marchwi, w zależności od temperatury i czasu jego przechowywania odnotowali początkową sumę α - i β -karotenu na poziomie $8,5 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ cm}^3$, zaś po 12 tygodniach przechowywania wartość ta obniżyła się do $6,5 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ cm}^3$.

Tabela 14.

Wpływ parametrów pasteryzacji na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Karotenoidy Kar ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)					
		Czas przechowywania Tp (dni)			
Czas pasteryzacji t (s)	Temperatura soku T ($^\circ\text{C}$)	1	4	7	10
0 (kontrola)		$90,50 \pm 0,85b$	$89,95 \pm 0,35b$	$86,30 \pm 0,42a$	nie oznaczono
300	70	$92,85 \pm 0,21a$	$93,35 \pm 0,92a$	$92,55 \pm 0,21a$	$92,75 \pm 0,21a$
600		$94,15 \pm 0,07a$	$95,65 \pm 0,21a$	$94,10 \pm 0,57a$	$93,40 \pm 1,27a$
900		$97,00 \pm 0,71b$	$97,05 \pm 0,07b$	$95,05 \pm 0,07ab$	$93,20 \pm 0,99b$
300	90	$101,40 \pm 0,57a$	$102,00 \pm 0,14a$	$100,45 \pm 1,20a$	$100,00 \pm 0,57a$
600		$89,45 \pm 0,21b$	$88,95 \pm 0,92ab$	$89,10 \pm 0,99ab$	$86,00 \pm 0,71a$
900		$83,90 \pm 0,42b$	$84,65 \pm 0,78ab$	$82,45 \pm 1,20a$	$80,10 \pm 0,57c$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 15.

Wyniki dotyczące karotenoidów: *p*-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Karotenoidy (mg·100 ⁻¹ g s.s.)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		<i>T</i> 70°C	0,72	0,72	0,24
		<i>T</i> 90°C	1,00	1,00	0,99
		<i>t</i> 300 s	1,00	1,00	0,32
		<i>t</i> 600 s	1,00	1,00	1,00
		<i>t</i> 900 s	1,00	1,00	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności <0,05

W tabelach 16 i 17 przedstawiono zmiany zawartości likopenu w soku pomidorowym poddanym pasteryzacji i przechowywanym chłodniczo. W pierwszym dniu przechowywania zawartość tego związku, w próbie kontrolnej wynosiła 77,50 mg·100⁻¹ g s.s, jednak po 7 dniach wartość ta obniżyła się statystycznie istotnie do poziomu 72,55 mg·100⁻¹ g s.s. Czas przechowywania miał również istotny wpływ na zawartość likopenu w przypadku soków pasteryzowanych w 70°C przez 900 s oraz w 90°C przez 600 i 900 s.

Najkorzystniejszą obróbką soku pomidorowego okazała się pasteryzacja przeprowadzona w temperaturze wynoszącej 90°C przez 300 s, gdzie badana wartość wzrosła, natomiast wydłużenie czasu obróbki do 900 s spowodowało degradację likopenu.

Tabela 16.

Wpływ parametrów pasteryzacji na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Likopen <i>Lik</i> (mg·100 ⁻¹ g s.s.)					
		Czas przechowywania <i>Tp</i> (dni)			
Czas pasteryzacji <i>t</i> (s)	Temperatura soku <i>T</i> (°C)	1	4	7	10
0 (kontrola)		77,50 ± 0,71a	76,50 ± 0,57a	72,55 ± 0,07b	nie oznaczono
300	70	80,20 ± 0,57a	79,95 ± 1,20a	79,90 ± 0,57a	79,75 ± 0,49a
600		81,50 ± 0,42a	81,65 ± 0,07a	81,45 ± 0,21a	80,70 ± 0,28a
900		84,35 ± 0,35b	83,00 ± 0,14ab	82,40 ± 0,28a	80,25 ± 0,78c
300	90	89,15 ± 0,92a	88,80 ± 0,28a	86,45 ± 0,92a	86,85 ± 0,35a
600		76,50 ± 0,14a	76,65 ± 0,35a	75,40 ± 0,71a	72,85 ± 0,21b
900		71,65 ± 0,07a	71,50 ± 0,14a	69,70 ± 0,71ab	66,95 ± 1,48b

Wyniki wyrażono jako średnią ± błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności <0,05

Tabela 17.

Wyniki dotyczące likopenu: *p*-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Likopen (mg·100 ⁻¹ g s.s.)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		<i>T</i> 70°C	0,72	0,37	0,24
		<i>T</i> 90°C	1,00	1,00	0,99
		<i>t</i> 300 s	1,00	0,51	0,32
		<i>t</i> 600 s	1,00	1,00	1,00
		<i>t</i> 900 s	1,00	1,00	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności <0,05

Badania dowodzą (Shi i Maguer, 2000; Takeoka i in., 2000; Nowak i in., 2009; Fanasca i in., 2006), iż odpowiednie przetworzenie owoców pomidora powoduje wzrost zawartości tego biologicznie aktywnego związku. Dodatkowo ulega on przekształceniu do postaci, w której jest znacznie lepiej wchłaniany z przewodu pokarmowego do organizmu.

Po pasteryzacji w temperaturze 85°C w czasie 18 minut próbki papryki ekologicznej były zasobniejsze w likopen w porównaniu z próbkami konwencjonalnymi. Po przechowaniu, stwierdzono jednak spadek zawartości tego biologicznie czynnego związku w badanych produktach, przy czym próbki ekologiczne okazały się bardziej wrażliwe na warunki przechowania w porównaniu z konwencjonalnymi (Hallmann i in., 2010).

Według Hsu (2008) oraz Kim i in. (2001) najbardziej korzystna pasteryzacja produktów zawierających likopen, to proces prowadzony w 121°C przez 40 sekund, albo 92°C przez 5 minut, w kilku powtórzeniach oddzielonych interwałami o niższej temperaturze (60°C).

Przybylska i Felisiak (2012) zanotowały obniżenie stężenia likopenu w przecierze pomidorowym pasteryzowanym (20, 35 i 50 min) i przechowywanym przez 1 miesiąc.

Spadek zawartości tego barwnika najprawdopodobniej wiąże się z wieloma procesami biochemicznymi, którym ulegają karotenoidy. Są to przede wszystkim procesy utleniania nienasyconych łańcuchów w wyniku fotooksydacji (konsekwencją czego jest odbarwienie w wyniku powstania bezbarwnych produktów utleniania), czy autoooksydacja, które mogą zachodzić po dłuższym czasie przechowywania w niewłaściwych warunkach (Hsu i in., 2008; Varma i in., 2010; Belter i in., 2011).

W badanym surowym soku pomidorowym w pierwszym dniu przechowywania zawartość witaminy C wynosiła 283,55 mg·100⁻¹ g s.s (12,27 mg·100⁻¹ g). W doniesieniach naukowych innych autorów (Wierzbicka i Kuskowska, 2002; Świetlikowska i in., 2012) zawartość witaminy C w tych produktach waha się od 3,9 mg·100⁻¹ g do 18,3 mg·100⁻¹ g.

Witamina C jest związkiem termolabilnym i procesy technologiczne z zastosowaniem wysokiej temperatury wpływają na przyspieszony rozkład tego biologicznie aktywnego składnika żywności (Hallmann i in., 2011). Ciepłne utrwalanie soku pomidorowego (pasteryzacja) już w temperaturze wynoszącej 70°C przez 300 s spowodowało spadek zawartości witaminy C do wartości wynoszącej 257,75 mg·100⁻¹ g s.s. Natomiast kolejne podwyższenie temperatury oraz wydłużenie czasu obróbki (90°C, czas 900 s) skutkowało obniżeniem zawartości kwasu askorbinowego o 41% w stosunku do próby kontrolnej (były to różnice statystycznie istotne) (tab. 19).

Prace naukowe potwierdzają dużą degradację witaminy C w produktach poddanych pasteryzacji (Nicoli i in., 1997; Hayes i in., 1998). Według Cendrowskiego i in. (2011) zawartość kwasu askorbinowego w dżemie z borówki wysokiej bezpośrednio po wyprodukowaniu wynosiła $8,9 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g}$, co już w tym momencie stanowiło około 30-procentowe zmniejszenie zawartości w stosunku do surowca świeżego. Największe jednak ubytki kwasu askorbinowego wystąpiły w procesie pasteryzacji (58% w stosunku do owocu surowego).

Tabela 18.

Wpływ parametrów pasteryzacji na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość kwasu askorbinowego KA (mg·100 ⁻¹ g s.s.)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas pasteryzacji t (s)	Temperatura soku T (°C)	1	4	7	10
0 (kontrola)		283,55 ± 0,35c	269,80 ± 0,85b	207,05 ± 1,63a	nie oznaczono
300	70	257,75 ± 3,04a	257,75 ± 3,61a	255,65 ± 0,78ab	247,00 ± 1,98b
600		223,45 ± 3,75a	223,00 ± 2,40a	219,80 ± 2,12a	217,15 ± 1,91a
900		214,95 ± 1,91a	214,95 ± 1,91a	211,05 ± 0,78a	210,20 ± 2,97a
300	90	220,85 ± 1,63a	220,45 ± 0,35a	217,85 ± 1,91a	216,25 ± 0,21a
600		188,85 ± 3,18a	188,20 ± 1,13a	187,00 ± 0,42a	185,10 ± 0,28a
900		166,80 ± 5,09a	164,20 ± 2,26a	162,30 ± 0,42a	160,70 ± 0,00a

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 19.

Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwas askorbinowy ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$T 70^{\circ}\text{C}$	0,47	0,52	0,39
		$T 90^{\circ}\text{C}$	0,02*	0,02*	1,00
		$t 300 \text{ s}$	1,00	1,00	0,51
		$t 600 \text{ s}$	0,27	0,32	1,00
		$t 900 \text{ s}$	0,03*	0,03*	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Witamina C jest również szczególnie wrażliwa na warunki przechowywania (Davey i in., 2000). Jednak w badanym soku pomidorowym po 10 dniach nie stwierdzono statystycznie istotnych zmian w zawartość kwasu askorbinowego w pasteryzowanych próbkach. Wystąpiły one jednak w przypadku produktu nieobrabianego cieplnie już po 4 dniach (tab. 18).

Warman i Havard (1997), dopiero podczas 24-tygodniowego przechowywania zauważyli, iż zawartość witaminy C w marchwi obniżyła się z wartości wynoszącej $3,43 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g}$ do $1,13 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g}$.

Esteve i in. (1996) badali stabilność kwasu askorbinowego w świeżym soku pomarańczowym i komercyjnych sokach pomarańczowych przechowywanych w temperaturze 4 i 10°C . Stwierdzili, że po 7 dniach przechowywania w temperaturze 4°C straty kwasu askorbinowego były mniejsze niż w sokach przechowywanym w wyższej temperaturze.

Choi i in. (2002) zauważyli, że w przypadku pasteryzowanego soku pomarańczowego (90°C , 90 s) przechowywanego w lodówce (temperatura $4,5^{\circ}\text{C}$) ponad 50% kwasu askorbinowego uległo degradacji po 3 tygodniach, a po 5 tygodniach przechowywania witamina C uległa całkowitej redukcji.

5.2.2. Właściwości fizykochemiczne sonikowanego soku pomidorowego

W tabelach od 20-31 przedstawiono zmiany właściwości fizykochemicznych soku pomidorowego poddanego sonikacji i przechowywanego chłodniczo przez 10 dni.

Ultradźwięki o dużym natężeniu (*power ultrasound*) poprzez indukcję wielu procesów fizycznych takich jak: dezintegracje cząstek ciała stałego, intensywne mieszanie oraz wywoływanie mikroprzepływów mogą wpływać na zmiany właściwości fizycznych materiałów biologicznych (Kobus, 2006).

Tabela 20.

Wpływ parametrów sonikacji na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Sucha substancja s.s. (%)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas sonikacji t (s)	Natężenie I ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)	1	4	7	10
0 (kontrola)		$4,32 \pm 0,01a$	$4,34 \pm 0,02a$	$4,39 \pm 0,03a$	nie oznaczono
120	28	$4,42 \pm 0,00a$	$4,42 \pm 0,01a$	$4,44 \pm 0,01a$	$4,44 \pm 0,02a$
300		$4,46 \pm 0,01a$	$4,46 \pm 0,00a$	$4,46 \pm 0,01a$	$4,46 \pm 0,04a$
600		$4,35 \pm 0,02a$	$4,35 \pm 0,01a$	$4,34 \pm 0,03a$	$4,40 \pm 0,02a$
120	40	$4,42 \pm 0,02a$	$4,42 \pm 0,01a$	$4,46 \pm 0,01a$	$4,47 \pm 0,02a$
300		$4,45 \pm 0,01a$	$4,46 \pm 0,01a$	$4,47 \pm 0,04a$	$4,49 \pm 0,01a$
600		$4,45 \pm 0,04a$	$4,45 \pm 0,01a$	$4,48 \pm 0,00a$	$4,48 \pm 0,01a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Zawartość suchej substancji w surowym soku pomidorowym po pierwszym dniu przechowywania wynosiła 4,32%. Obróbka ultradźwiękowa przez 300 s spowodowała nieznaczny wzrost zawartości tej cechy do wartości 4,46% (przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$). Natomiast kiedy natężenie ultradźwięków zwiększono do $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ sok pomidorowy charakteryzował się suchą substancją na poziomie 4,45%. Czas przechowywania

przez 10 dni nie wpłynął statystycznie istotnie na zawartość suchej substancji w poddanych sonifikacji produktach (tab. 20 i 21).

Według badań Mason i in., (1996) oraz Cheng i in. (2007) ultradźwięki zmniejszają rozmiar cząstek w wyniku zapadnięcia się pęcherzyków kawitacyjnych utworzonych na powierzchni, co pozwala na pozostawianie drobnych cząstek w supernatancie po odwirowaniu, a to zapewnia stabilność soku.

Fijalkowska i in. (2015) zaobserwowali, iż fale ultradźwiękowe o częstotliwości 21 kHz spowodowały nieznaczny wzrost zawartości suchej substancji w tkance marchwi od wartości wynoszącej 11,30% (próba kontrolna) do 13,38% (w przypadku gdy materiał obrabiany był przez 20 minut). Fale ultradźwiękowe docierające do wnętrza tkanki wykonują pracę, która powoduje wytwarzanie ciepła, dzięki czemu wzrasta również temperatura obrabianego materiału. Skutkuje to bardziej intensywnym odparowywaniem wody, a co za tym idzie zwiększeniem wartości suchej substancji.

Tabela 21.

Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Sucha substancja (%)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$I\ 28\ \text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	0,31	0,43	1,00
		$I\ 40\ \text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	0,07	0,10	0,10
		$t\ 120\ \text{s}$	0,88	1,00	1,00
		$t\ 300\ \text{s}$	0,03*	0,03*	0,51
		$t\ 600\ \text{s}$	1,00	1,00	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Kobus (2005) w swoich badaniach stwierdził, iż sonikacja miazgi marchwiowej przed tłoczeniem powoduje wzrost zawartości suchej substancji w soku marchwiowym, przy czym jest on uzależniony od odmiany marchwi (Nanda i Nevis), intensywności ultradźwięków (6,8; 16,2 i 22,4 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) oraz czasu obróbki (5, 10 i 15 minut). Istotnie statystyczny przyrost ilości suchej substancji w soku z tych warzyw, przy natężeniu 6,8 W/cm^2 zauważono tylko przy czasie obróbki wynoszącym 15 minut dla odmiany Nevis. Natomiast przy natężeniu wynoszącym 16,2 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ istotne zmiany wykazano zarówno podczas obróbki trwającej 10 minut, jak i 15 minut dla obu odmian.

Podobne zależności zaobserwowali również Jambrak i in. (2007), Kek i in. (2013) oraz Nowacka i in. (2012).

Soki poddane sonikacji i przechowywane 1 dzień, tylko w przypadku natężenia 40 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ różniły się statystycznie istotnie pod względem kwasowości (4,34-4,36) od próby kontrolnej – 3,93 (tab. 23). Pozostałe parametry procesu nie wpływały na zmiany pH badanych produktów.

Czas przechowywania w większości przypadków wpłynął na wartości pH soków pomidorowych. Po 10 dniach chłodniczego przechowywania przy zastosowanym natężeniu drgań 28 i 40 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ oraz obróbce trwającej 600 s uzyskano najwyższe wartości parametru, które wynosiły odpowiednio 4,52 i 4,48 (tab. 22).

Tabela 22.

Wpływ parametrów sonikacji na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Kwasowość K_w (pH)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas sonikacji t (s)	Natężenie I ($W \cdot cm^{-2}$)	1	4	7	10
0 (kontrola)		$3,93 \pm 0,06a$	$3,95 \pm 0,07ab$	$4,04 \pm 0,06b$	nie oznaczono
120	28	$4,34 \pm 0,01a$	$4,34 \pm 0,01a$	$4,39 \pm 0,01b$	$4,40 \pm 0,00b$
300		$4,34 \pm 0,00a$	$4,35 \pm 0,00a$	$4,43 \pm 0,00b$	$4,47 \pm 0,03b$
600		$4,35 \pm 0,05a$	$4,40 \pm 0,00ab$	$4,42 \pm 0,01ab$	$4,52 \pm 0,05b$
120	40	$4,35 \pm 0,05a$	$4,39 \pm 0,02a$	$4,42 \pm 0,01a$	$4,46 \pm 0,01a$
300		$4,36 \pm 0,00a$	$4,36 \pm 0,01a$	$4,37 \pm 0,00a$	$4,48 \pm 0,01b$
600		$4,36 \pm 0,00a$	$4,37 \pm 0,00a$	$4,44 \pm 0,07a$	$4,48 \pm 0,02a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 23.

Wyniki dotyczące kwasowości: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwasowość (pH)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$I \ 28 \ W \cdot cm^{-2}$	0,29	0,26	0,09
		$I \ 40 \ W \cdot cm^{-2}$	0,04*	0,05	0,15
		$t \ 120 \ s$	0,77	0,40	0,44
		$t \ 300 \ s$	0,16	1,00	0,77
		$t \ 600 \ s$	0,23	0,05	0,08

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Wyniki te są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Abid i in. (2013), którzy poddawali sonikacji 60 ml soku jabłkowego przez 30, 60 i 90 minut (pH 3,99-4,00), Bhat i in. (2011) badających sok z pomarańczy panamskiej (pH 3,99-4,00) oraz Zafra-Rojas i in., (2013) przeprowadzających zabieg sonikacji (trwający od 10 do 25 minut przy natężeniu drgań wynoszącym $14-28 \ W \cdot cm^{-2}$) soku z opuncji figowej (pH 5,00 do 5,11).

Również sonikacja soku pomidorowego przez 10 minut przy natężeniu wynoszącym około $61 \ W \cdot cm^{-2}$, nie spowodowała istotnych różnic ($p < 0,05$) w jego pH (Adekunte i in., 2010).

Tiwari i in. (2008) w sonikowanym soku pomarańczowym także nie zanotowali znaczącego wpływu na pH (3,61-3,62) niezależnie od natężenia ultradźwięków ($W \cdot cm^{-2}$) lub czasu trwania procesu ($p < 0,05$).

Bermúdez-Aguirre i in. (2012) w przypadku soków z ananasa, winogron i żurawiny oraz Ugarte-Romero i in. (2006) w cydrze jabłkowym również potwierdzili, iż sonikacja nie ma wpływu na pH obrabianych produktów.

Zawartości substancji rozpuszczalnych ($^{\circ}\text{Bx}$) w znaczącym stopniu określa wartość odżywcza produktów spożywczych. Wartość badanej cechy w analizowanych sokach (niezależnie od zastosowanego natężenia) nieznacznie wzrastała wraz z czasem wydłużania obróbki ultradźwiękowej, jednak nie były to różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$).

Zawartość substancji rozpuszczalnych w soku pomidorowym w czasie przechowywania zwiększała się (zastosowany test nie wykazał jednak statystycznie istotnych różnic), co mogło być wynikiem wzrostu zawartości cukrów w znacznie mniej rozcieńczonym roztworze (szczególnie podczas obróbki przez 600 s w wyższej temperaturze). Wartość tego wyróżnika po 1 dniu przechowywania wahała się od $3,00$ – $3,75^{\circ}\text{Bx}$, natomiast w 10 dniu zawierała się w przedziale $3,25$ – $3,90^{\circ}\text{Bx}$ (tab. 24 i 25).

Tabela 24.

Wpływ parametrów sonikacji na zawartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość substancji rozpuszczalnych Z_{sc} ($^{\circ}\text{Bx}$)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas sonikacji t (s)	Natężenie I ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)	1	4	7	10
0 (kontrola)		$3,65 \pm 0,07a$	$3,60 \pm 0,00a$	$3,50 \pm 0,00a$	nie oznaczono
120	28	$3,55 \pm 0,07a$	$3,60 \pm 0,00a$	$3,70 \pm 0,14a$	$3,85 \pm 0,07a$
300		$3,65 \pm 0,07a$	$3,70 \pm 0,14a$	$3,75 \pm 0,35a$	$3,85 \pm 0,07a$
600		$3,75 \pm 0,07a$	$3,85 \pm 0,07a$	$3,95 \pm 0,07a$	$3,90 \pm 0,00a$
120	40	$3,65 \pm 0,07a$	$3,65 \pm 0,07a$	$3,75 \pm 0,07a$	$3,85 \pm 0,07a$
300		$3,05 \pm 0,07a$	$3,35 \pm 0,07a$	$3,30 \pm 0,14a$	$3,35 \pm 0,07a$
600		$3,00 \pm 0,14a$	$3,15 \pm 0,07a$	$3,25 \pm 0,07a$	$3,25 \pm 0,07a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 25.

Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Zawartość substancji rozpuszczalnych ($^{\circ}\text{Bx}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		I 28 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	1,00	1,00	0,54
		I 40 $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	0,52	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	1,00
		t 600 s	1,00	1,00	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Wyniki te są porównywalne z wynikami Zafra-Rojas i in., (2013), którzy próbki soku z opuncji figowej poddawali obróbce ultradźwiękowej przy 1500 W , stałej częstotliwości wynoszącej 20 kHz i $8\text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, $14\text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ i $28\text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ natężeniu drgań oraz różnym czasie

(10, 15 i 25 minut). Zawartości substancji rozpuszczalnych zawierała się w przedziale od 12,05 do 13,33°Bx.

del Socorro Cruz-Cansino i in. (2015) podczas 28-dniowego przechowywania tego typu produktu stwierdzili, że zawartość substancji rozpuszczalnych pozostawała na tym samym poziomie.

Również Abid i in. (2013) nie zanotowali statystycznie istotnych zmian zawartości substancji rozpuszczalnych w soku jabłkowym utrwalanym przez 30, 60 i 90 minut, w porównaniu z próbą kontrolną.

Pomidory i ich przetwory są źródłem wielu związków o dużej aktywności biologicznej, wśród których największą odznaczają się karotenoidy, w tym wykazujący prozdrowotne właściwości likopen.

Zawartość karotenoidów (tab. 26 i 27) i likopenu (tab. 28 i 29) w soku pomidorowym poddanym sonikacji, niezależnie od zastosowanego natężenia i czasu działania ultradźwięków w większości przypadków utrzymywała się na stałym poziomie. Natomiast obróbka trwająca 120 s (natężenie 40 W·cm⁻²), po pierwszym dniu przechowywania, spowodowała wzrost karotenoidów o 5%, a likopenu o 7% w porównaniu z próbą kontrolną (zastosowany test statystyczny nie wykazał istotnych różnic).

W przypadku przechowywania nie stwierdzono redukcji tych barwników po procesie sonikacji. Wyjątek stanowiły próbki soku pomidorowego nie poddane obróbce oraz sonikowane przez 600 s (natężenie 40 W·cm⁻²) i przechowywane przez 7 lub 10 dni.

Zwiększenie całkowitej zawartości karotenoidów (α -karotenu, β -karotenu i likopenu) zaobserwowano w próbkach soku pomarańczowego poddanych działaniu ultradźwięków przez 1, 10, 20 i 30 minut w porównaniu z próbą kontrolną. Ten wzrost całkowitej ilości karotenoidów w wyniku zastosowanej sonikacji autorzy pracy przypisali mechanicznemu rozerwaniu ścian komórkowych, co mogło zwiększyć ilość wolnych karotenoidów w materiale badawczym (Guerrouj i in., 2016).

Tabela 26.

Wpływ parametrów sonikacji na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Karotenoidy Kar (mg·100 ⁻¹ g s.s.)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas sonikacji t (s)	Natężenie I (W·cm ⁻²)	1	4	7	10
0 (kontrola)		90,50 ± 0,85b	89,95 ± 0,35b	86,30 ± 0,42a	nie oznaczono
120	28	87,85 ± 0,35a	88,70 ± 0,57a	89,00 ± 0,28a	88,50 ± 0,00a
300		88,95 ± 0,48a	90,05 ± 0,07a	89,25 ± 0,07a	88,90 ± 0,42a
600		91,95 ± 0,49a	91,75 ± 0,21a	92,10 ± 0,00a	89,90 ± 1,70a
120	40	95,35 ± 0,64a	94,00 ± 1,56ab	95,35 ± 0,35a	91,55 ± 0,49a
300		93,60 ± 0,14a	92,00 ± 1,13a	93,85 ± 0,34a	92,25 ± 0,64a
600		85,60 ± 0,13a	86,55 ± 0,35a	85,60 ± 0,42a	83,80 ± 0,57b

Wyniki wyrażono jako średnią ± błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności <0,05

Tabela 27.

Wyniki dotyczące karotenoidów: *p*-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Karotenoidy ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$I 28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	1,00	1,00	0,72
		$I 40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	1,00	0,20	0,36
		$t 120 \text{ s}$	1,00	1,00	0,63
		$t 300 \text{ s}$	1,00	1,00	1,00
		$t 600 \text{ s}$	1,00	1,00	0,55

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 28.

Wpływ parametrów sonikacji na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Likopen Lik ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas sonikacji t (s)	Natężenie I ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)	1	4	7	10
0 (kontrola)		$77,50 \pm 0,71a$	$76,50 \pm 0,57a$	$72,55 \pm 0,07b$	nie oznaczono
120	28	$76,10 \pm 0,14a$	$76,10 \pm 0,14a$	$75,50 \pm 0,14a$	$75,15 \pm 0,21a$
300		$76,55 \pm 0,07a$	$76,50 \pm 0,00a$	$76,35 \pm 0,07a$	$75,35 \pm 0,07a$
600		$79,15 \pm 0,35a$	$79,05 \pm 0,07a$	$78,45 \pm 0,35a$	$75,65 \pm 1,20b$
120	40	$83,15 \pm 0,35ab$	$81,65 \pm 1,48ab$	$82,10 \pm 0,14ab$	$79,40 \pm 0,14a$
300		$81,00 \pm 0,00a$	$80,00 \pm 2,83a$	$80,65 \pm 0,64a$	$78,70 \pm 0,42a$
600		$75,45 \pm 0,07b$	$74,05 \pm 0,21b$	$71,70 \pm 0,00a$	$70,00 \pm 0,85a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Jabbar i in. (2014) wykazali, że zastosowanie, przed tłoczeniem marchwi, blanszowania w wodzie lub w roztworze kwasu cytrynowego (4,5%) i następnie poddanie soku działaniu ultradźwięków (natężenie $48 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, 2 minuty, 15°C) powoduje wzrost ilości karotenoidów ogółem od 0,79 do $1,02 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, a likopenu od 0,60 do $0,67 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ w stosunku do soku tłoczonego bez obróbki wstępnej.

Wpływ obróbki ultradźwiękowej na właściwości fizykochemiczne materiałów biologicznych uzależniony jest od całkowitej ilości energii akustycznej wprowadzonej do badanego układu (np. miazgi marchwiowej) oraz jej transformacji w inne rodzaje energii (Suslick 1988; Floros i Liang, 1994; Śliwiński, 2001).

Duża część energii akustycznej jest zamieniana na energię cieplną, co objawia się wzrostem temperatury sonikowanego ośrodka. Zmiany temperatury wpływają z kolei na zmianę właściwości fizykochemicznych obrabianego produktu (Kobus, 2002) oraz skuteczność działania ultradźwięków. Nadmierny wzrost temperatury powoduje spadek efektywności

procesu sonikacji oraz niekorzystnie wpływa na jakość obrabianego materiału (Raso i in., 1999; Löning i in., 2002).

Tabela 29.

Wyniki dotyczące likopenu: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Likopen ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$I 28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	1,00	1,00	0,72
		$I 40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	1,00	0,14	0,36
		$t 120 \text{ s}$	1,00	1,00	0,59
		$t 300 \text{ s}$	1,00	1,00	0,59
		$t 600 \text{ s}$	1,00	0,77	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Soki pomidorowe poddane obróbce ultradźwiękowej cechowały się istotnie niższą zawartością kwasu askorbinowego. W pierwszym dniu przechowywania po zastosowaniu obróbki o natężeniu $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ (statystycznie istotne różnice; $p=0,01$), zawartość tego związku szczególnie po 600 s obróbki była o ponad 20% mniejsza w porównaniu z sokiem surowym. Znacznie mniejsze straty (około 5%) obserwowano przy natężeniu ultradźwięków równym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ i czasie sonikacji wynoszącym 120 i 300 s.

Witamina C w badanych produktach pod wpływem przechowywania uległa dalszej degradacji, zarówno w przypadku próby kontrolnej, jak i soków poddanych obróbce ultradźwiękami o natężeniu drgań $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ (tab. 30 i 31).

Tabela 30.

Wpływ parametrów sonikacji na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość kwasu askorbinowego KA ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)					
		Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas sonikacji t (s)	Natężenie I ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)	1	4	7	10
0 (kontrola)		$283,55 \pm 0,35c$	$269,80 \pm 0,85b$	$207,05 \pm 1,63a$	nie oznaczono
120	28	$277,60 \pm 0,28a$	$277,80 \pm 0,57a$	$276,65 \pm 1,06a$	$277,25 \pm 1,48a$
300		$271,40 \pm 0,42a$	$269,55 \pm 0,64a$	$269,00 \pm 1,41a$	$265,20 \pm 8,06a$
600		$262,50 \pm 2,69a$	$261,10 \pm 0,28a$	$260,90 \pm 2,40a$	$257,00 \pm 2,12a$
120	40	$261,80 \pm 1,84b$	$259,00 \pm 0,71ab$	$256,20 \pm 0,28b$	$255,35 \pm 0,92a$
300		$255,95 \pm 1,77b$	$254,50 \pm 0,14ab$	$253,35 \pm 2,33ab$	$249,95 \pm 0,78a$
600		$224,30 \pm 4,67b$	$220,90 \pm 2,26b$	$216,90 \pm 0,42ab$	$215,25 \pm 0,49a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 31.

Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwas askorbinowy (mg·100 ⁻¹ g s.s.)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$I\ 28\ W\cdot cm^{-2}$	0,67	1,00	0,01*
		$I\ 40\ W\cdot cm^{-2}$	0,01*	0,08	0,72
		$t\ 120\ s$	1,00	1,00	0,08
		$t\ 300\ s$	0,32	1,00	0,32
		$t\ 600\ s$	0,06	0,44	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności <0,05

Inni autorzy w czasie przechowywania od 1 do 8 dni (temperatura 20°C) soku z truskawek, również zanotowali istotną redukcję tego związku po procesie sonikacji (Tiwari i in., 2009).

Podczas procesu sonikacji, soku pomidorowego umieszczonego w naczyniu z płaszczem wodnym o temperaturze 25±0,5°C, temperatura sonikowanego soku wahała się od 32 do 45°C, również stwierdzono wysoką degradację kwasu askorbinowego. W poddanym przez 10 minut obróbce materiale wartość parametru obniżyła się z 14,5 mg·100⁻¹ ml (próba kontrolna) do 9,8 mg·100⁻¹ ml (Adekunte i in., 2010).

Natomiast obróbka soku jabłkowego przez 30, 60 i 90 minut w stałej temperaturze 20°C i amplitudzie 70% za pomocą generatora ultradźwiękowego umieszczonego w kąpeli wodnej nie spowodowała strat kwasu askorbinowego, którego zawartość zawierała się w przedziale od 37,68 do 40,20 mg·100⁻¹ ml (Bhat i in., 2011).

Jednak w badaniach Guerrouj i in. (2016), w których temperatura sonikowanego soku pomarańczowego wynosiła 43°C, ilość kwasu askorbinowego była znacznie wyższa i wynosiła 36,76 mg·100⁻¹ ml (po 10 minutach), 37,59 mg·100⁻¹ ml (po 20 minutach) i 36,23 mg·100⁻¹ ml (po 30 minutach) w porównaniu z kontrolą - 28,9 mg·100⁻¹ ml i 1 minutą traktowanej próbki - 29,4 mg·100⁻¹ ml, co pokazuje korzystny wpływ sprzężenia sonikacji z łagodnymi temperaturami na ekstrakcję kwasu askorbinowego.

Podobne wyniki odnotowano po sonikacji soku z gujawy (Cheng i in., 2007). Autorzy pracy stwierdzili, iż obróbka ultradźwiękami, przeprowadzona w odpowiednio niskich temperaturach, zwiększa zawartość kwasu askorbinowego z powodu eliminacji rozpuszczonego tlenu, który jest niezbędny do degradacji tego związku podczas kawitacji.

5.2.3. Właściwości fizykochemiczne soku pomidorowego poddanego działaniu zimnej plazmy

Soki pomidorowe poddane utrwalaniu przy użyciu plazmy nierównowagowej gdzie gazem procesowym był azot oraz powietrze i przechowywane 1 dzień zawierały od 3,86 do 4,42% suchej substancji i nie były to wartości różniące się statystycznie istotnie w porównaniu z próbą kontrolną – 4,32%. Nie stwierdzono również wpływu czasu przechowywania na tę cechę produktu (tab. 32-35).

Jak donoszą Wang i in. (2012), traktowanie przez 8 minut zimną plazmą (przy użyciu mikrodiszy plazmowej i sprężonego powietrza o przepływie $5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ jako gazu roboczego) świeżych owoców i warzyw skutkuje nieznaczną utratą wilgotności przez te surowce - poniżej 5%. Może być to spowodowane przez przepływ powietrza z urządzenia plazmowego oraz jego nieznacznie podwyższoną temperaturę, która wynosiła około $30\text{--}45^\circ\text{C}$.

Sucha substancja próbek melona traktowanego plazmą generowaną w reaktorze z wyładowaniem barierowym (DBD) złożonym z trzech równoległych elektrod wykonanych z mosiądzu i dielektryka szklanego o grubości 5 mm (gazem procesowym było powietrze) znacząco różniła się od materiału nieobrobionego. Po 2 i 4 dniach przechowywania próbki traktowane plazmą przez 60 minut (po 30 minut dla każdej strony plastra owocu) wykazywały wyższą zawartość suchej substancji niż próbki kontrolne (Tappi i in., 2014).

Tabela 32.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Sucha substancja s.s. (%)				
Czas działania plazmy t (s)	Czas przechowywania T_p (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$4,32 \pm 0,01a$	$4,34 \pm 0,02a$	$4,39 \pm 0,03a$	nie oznaczono
30	$4,31 \pm 0,02a$	$4,34 \pm 0,08a$	$4,34 \pm 0,06a$	$4,37 \pm 0,03a$
60	$4,33 \pm 0,04a$	$4,33 \pm 0,04a$	$4,36 \pm 0,00a$	$4,37 \pm 0,01a$
120	$4,33 \pm 0,02a$	$4,34 \pm 0,01a$	$4,35 \pm 0,03a$	$4,37 \pm 0,04a$
300	$4,32 \pm 0,01a$	$4,33 \pm 0,01a$	$4,35 \pm 0,01a$	$4,37 \pm 0,02a$
600	$4,27 \pm 0,04a$	$4,28 \pm 0,01a$	$4,27 \pm 0,04a$	$4,33 \pm 0,06a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 33.

Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Sucha substancja (%)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	1,00
		t 600 s	0,92	1,00	0,19

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Natomiast w badaniach Ramazzina i in. (2015), którzy zjonizowany gaz wytworzyli w reaktorze DBD z trzema parami równoległych elektrod płytkowych, wykonanych z mo-

siądzu (jedna elektroda z każdej pary była pokryta arkuszem szklanym o grubości 5 mm jako materiał dielektryczny) zawartość suchej substancji owoców kiwi uległa zwiększeniu o około 7% w porównaniu z próbą kontrolną.

Wśród cech powszechnie analizowanych podczas oceny właściwości fizykochemicznych soku pomidorowego, pH jest bardzo ważne, ponieważ jego wartość wpływa na ogólną jakość soku w czasie przechowywania.

Tabela 34.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Sucha substancja s.s. (%)				
Czas działania plazmy t (s)	Czas przechowywania T_p (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$4,32 \pm 0,01a$	$4,34 \pm 0,02a$	$4,39 \pm 0,03a$	nie oznaczono
30	$4,32 \pm 0,00a$	$4,33 \pm 0,01a$	$4,33 \pm 0,03a$	$4,41 \pm 0,02a$
60	$3,86 \pm 0,66a$	$4,33 \pm 0,03a$	$4,36 \pm 0,02a$	$4,43 \pm 0,03a$
120	$4,42 \pm 0,01a$	$4,41 \pm 0,01a$	$4,45 \pm 0,01a$	$4,45 \pm 0,02a$
300	$4,38 \pm 0,01a$	$4,38 \pm 0,01a$	$4,36 \pm 0,08a$	$4,35 \pm 0,06a$
600	$4,36 \pm 0,01a$	$4,35 \pm 0,01a$	$4,28 \pm 0,01a$	$4,31 \pm 0,01a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 35.

Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Sucha substancja (%)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	0,33	0,92	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	1,00
		t 600 s	1,00	1,00	0,92

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Oznaczona wartość w surowym soku pomidorowym po 24 godzinach przechowywania wynosiła 3,93. W sokach poddanych działaniu zimnej plazmy przez 600 s z użyciem azotu (tab. 36 i 37) zanotowano nieznaczny wzrost pH do wartości wynoszącej 4,47. W przypadku gdy gazem procesowym było powietrze, identyczną wartość uzyskano dla produktu utrwalanego przez 300 s, jednak w żadnym przypadku nie były to wartości różniące się statystycznie istotnie. Natomiast czas przechowywania w warunkach chłodniczych trwający 7 i 10 dni, spowodował nieznaczny wzrost wartości pH w badanych próbkach (tab. 38 i 39).

Otrzymane wartości pH dla soku pomidorowego korespondują z wynikami badań podanymi przez Misra i in. (2014), którzy stwierdzili, że pH pomidorów koktajlowych wzrasta pod koniec okresu przechowywania w przypadku kontroli, jak również dla owoców poddanych obróbce przez 30, 60, 180 i 300 s. Wzrost wartości pH był nieco wyższy w przypadku pomidorów traktowanych plazmą, przy czym przyrost ten był odwrotnie proporcjonalny do czasu obróbki. Nie zanotowano jednak statystycznie znaczącej różnicy ($p < 0,05$) między pH próbki kontrolnej i pomidorów utrwalanych przy użyciu zimnej plazmy atmosferycznej. Autorzy pracy w swoich doświadczeniach wykorzystali zimną plazmę wytworzoną w powietrzu wewnątrz worka za pomocą bariery dielektrycznej.

Dasan i in. (2018) poddając sok pomidorowy obróbce zimną plazmą atmosferyczną (*atmospheric pressure plasma jet*) stwierdzili, iż wartości pH próbek traktowanych plazmą nie różniły się od próbki kontrolnej (4,311). Cytowani autorzy niewielki wzrost wartości parametru zaobserwowali tylko w przypadku czasu obróbki wynoszącego 90 s (4,331) i 120 s (4,327).

Tabela 36.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Czas działania plazmy t (s)	Kwasowość K_w (pH)			
	Czas przechowywania T_p (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$3,93 \pm 0,06a$	$3,95 \pm 0,07ab$	$4,04 \pm 0,06b$	nie oznaczono
30	$4,46 \pm 0,00a$	$4,46 \pm 0,00a$	$4,45 \pm 0,00a$	$4,46 \pm 0,00a$
60	$4,45 \pm 0,00a$	$4,45 \pm 0,00a$	$4,47 \pm 0,00b$	$4,48 \pm 0,00b$
120	$4,46 \pm 0,00a$	$4,46 \pm 0,00a$	$4,50 \pm 0,00b$	$4,49 \pm 0,01b$
300	$4,46 \pm 0,00a$	$4,47 \pm 0,01a$	$4,53 \pm 0,00b$	$4,53 \pm 0,00b$
600	$4,47 \pm 0,00a$	$4,49 \pm 0,00a$	$4,99 \pm 0,01b$	$4,99 \pm 0,01b$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 37.

Wyniki dotyczące kwasowości: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwasowość (pH)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	0,33	0,39	0,39
		t 600 s	0,10	0,08	0,08

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Pankaj i in. (2017) do obróbki soku z winogron wykorzystali reaktor składający się z dwu okrągłych płyt z aluminium o średnicy zewnętrznej 158 mm oraz plexi o grubości 10 mm i 2-milimetrowych arkuszy polipropylenowych w charakterze barier dielektrycznych, aby uniknąć pojawienia się wyładowania łukowego bądź iskrowego i zapewnić jednorodność plazmy. Próbkę soku z winogron poddali obróbce przy napięciu 80 kV przez 1, 2, 3 i 4 minuty. Wartość pH badanego materiału nietraktowanego plazmą wynosiła 3,38 i nie zaobserwowano żadnej istotnej różnicy po obróbce tak uzyskaną plazmą atmosferyczną – 3,30.

Jednak w innych pozycjach literaturowych zamieszczone są badania, w których wartości pH w świeżo wyciśniętym soku pomarańczowym po obróbce plazmą zmniejszyła się (Shi i in., 2011).

Tabela 38.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Czas działania plazmy t (s)	Kwasowość K_w (pH)			
	Czas przechowywania T_p (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$3,93 \pm 0,06$	$3,95 \pm 0,07$	$4,04 \pm 0,06$	nie oznaczono
30	$4,40 \pm 0,00$	$4,41 \pm 0,00$	$4,42 \pm 0,00$	$4,43 \pm 0,00$
60	$4,42 \pm 0,00$	$4,43 \pm 0,01$	$4,43 \pm 0,00$	$4,44 \pm 0,00$
120	$4,46 \pm 0,00$	$4,46 \pm 0,00$	$4,48 \pm 0,00$	$4,49 \pm 0,00$
300	$4,47 \pm 0,00$	$4,55 \pm 0,00$	$4,56 \pm 0,00$	$4,55 \pm 0,01$
600	$4,45 \pm 0,00$	$4,53 \pm 0,05$	$4,52 \pm 0,00$	$4,57 \pm 0,03$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 39.

Wyniki dotyczące kwasowości: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwasowość (pH)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania T_p (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	0,33	1,00	1,00
		t 300 s	0,10	0,19	0,08
		t 600 s	1,00	0,19	0,40

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Almeida i in. (2015) generowali plazmę atmosferyczną również w wyładowaniu barierowym. Dwie talerzowe elektrody (odległość między nimi wynosiła 22 mm) rozdzielono

pojemnikiem z polipropylenu, który służył zarówno jako uchwyt do próbek, jak i jako bariera dielektryczna o grubości ścianki 1,2 mm., równej wysokości pojemnika. Wszystkie doświadczenia przeprowadzono przy napięciu 70 kV w powietrzu atmosferycznym i warunkach ciśnienia atmosferycznego. Autorzy pracy zaobserwowali, iż wartość pH próbek prebiotycznego soku pomarańczowego poddanego obróbce zimną plazmą atmosferyczną, była statystycznie różna od wartości charakteryzującej próbkę kontrolną. Średnia wartość pH uzyskana dla kontroli wynosiła 4,43, a dla plazmowanych próbek soku pomarańczowego mieściła się w zakresie od 3,9 do 4,0.

Różnice w uzyskanych wartościach pH dla pomidorów i ich przetworów przypisywane są przemianom metabolicznym i utracie wody w materiale (García i in., 2014).

Oznaczenie zawartości substancji rozpuszczalnych ($^{\circ}\text{Bx}$) w surowym soku pomidorowym w pierwszym dniu przechowywania wykazało jego średnią zawartość na poziomie $3,65^{\circ}\text{Bx}$. Nie zanotowano statystycznie istotnych różnic pomiędzy tymi próbkami, a próbkami z sokiem pomidorowym poddanym działaniu zimnej plazmy atmosferycznej. Wartości substancji rozpuszczalnych w przypadku kiedy gazem roboczym był azot zawierały się przedziale $3,85\text{--}4,15^{\circ}\text{Bx}$ (tab. 41), natomiast kiedy zastąpiono go powietrzem $3,65\text{--}3,85^{\circ}\text{Bx}$ (tab. 43). Czas przechowywania nie miał istotnego wpływu na badaną cechę (tab. 40 i 42).

W odniesieniu do świeżych plasterów jabłka obserwowano minimalny wzrost ogólnej zawartości substancji rozpuszczalnych w przypadku próbek poddanych działaniu zimnej plazmy (od $0,4$ do $0,8^{\circ}\text{Bx}$) w porównaniu z kontrolnymi, za wyjątkiem świeżych plasterów owocu przebadanego bezpośrednio po obróbce przez 5 minut (dla każdej ze stron materiału) (Tappi i in., 2014).

Sarangapani i in. (2017) analizując próbki jagód stwierdzili, że wraz z wydłużeniem czasu działania zimnej plazmy atmosferycznej (1-5 minut) zawartość substancji rozpuszczalnych również wzrastała od $12,80$ do $13,50^{\circ}\text{Bx}$, przy napięciu wynoszącym 60 kV oraz od $12,80$ do $14,10^{\circ}\text{Bx}$, gdy napięcie wynosiło 80 kV. Wszystkie poddane działaniu plazmy próbki owoców różniły się statystycznie istotnie od próby kontrolnej – $12,40^{\circ}\text{Bx}$.

Tabela 40.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na zawartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość substancji rozpuszczalnych Z_{sc} ($^{\circ}\text{Bx}$)				
Czas działania plazmy t (s)	Czas przechowywania T_p (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$3,65 \pm 0,07a$	$3,60 \pm 0,00a$	$3,50 \pm 0,00a$	nie oznaczono
30	$3,95 \pm 0,07a$	$3,85 \pm 0,07a$	$3,95 \pm 0,07a$	$4,10 \pm 0,00a$
60	$3,90 \pm 0,00a$	$3,90 \pm 0,00a$	$4,00 \pm 0,14a$	$3,95 \pm 0,07a$
120	$3,90 \pm 0,00a$	$3,90 \pm 0,00a$	$4,00 \pm 0,14a$	$4,00 \pm 0,14a$
300	$3,85 \pm 0,07a$	$3,95 \pm 0,07a$	$4,05 \pm 0,07a$	$3,90 \pm 0,14a$
600	$4,15 \pm 0,07a$	$4,05 \pm 0,07a$	$4,25 \pm 0,07a$	$3,80 \pm 0,00b$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 41.

Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Zawartość substancji rozpuszczalnych (°Bx)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	0,92	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	0,78	1,00
		t 600 s	0,08	0,10	0,08

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 42.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na wartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość substancji rozpuszczalnych Z_{sc} (°Bx)				
Czas działania plazmy t (s)	Czas przechowywania T_p (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$3,65 \pm 0,07a$	$3,60 \pm 0,00a$	$3,50 \pm 0,00a$	nie oznaczono
30	$3,65 \pm 0,07a$	$3,70 \pm 0,00a$	$3,7 \pm 0,00a$	$4,05 \pm 0,07a$
60	$3,70 \pm 0,00a$	$3,70 \pm 0,00a$	$3,9 \pm 0,14a$	$4,00 \pm 0,00a$
120	$3,65 \pm 0,07a$	$3,65 \pm 0,07a$	$3,85 \pm 0,07ab$	$3,90 \pm 0,14b$
300	$3,8 \pm 0,00a$	$3,70 \pm 0,00a$	$3,95 \pm 0,07a$	$3,85 \pm 0,07a$
600	$3,85 \pm 0,07a$	$3,90 \pm 0,00a$	$4,00 \pm 0,00a$	$3,85 \pm 0,07a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 43.

Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Zawartość substancji rozpuszczalnych (°Bx)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	0,56
		t 600 s	0,78	0,13	0,19

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

W wyniku działania zimnej plazmy nastąpił niewielki wzrost całkowitej zawartości karotenoidów w soku pomidorowym w porównaniu z próbą kontrolną ($89,25 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$). Maksymalną zawartością tych związków charakteryzowały się próbki materiału w pierwszym ($92,65 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$) i czwartym ($92,30 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$) dniu przechowywania podane obróbce przez 600 s w niskiej temperaturze plazmy. Wydłużenie czasu przechowywania badanego produktu spowodowało niewielki spadek ogólnej zawartości karotenoidów w porównaniu z próbą kontrolną. Najniższą wartość karotenoidów zaobserwowano po 10 dniach przechowywania dla soku pomidorowego utrwalanego przez 30 s – $87,35 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$ Zmiany te nie były statystycznie istotne (tab. 44 i 46).

Tabela 44.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Karotenoidy $Kar (\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.})$				
Czas działania plazmy $t (\text{s})$	Czas przechowywania $Tp (\text{dni})$			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$90,50 \pm 0,85b$	$89,95 \pm 0,35b$	$86,30 \pm 0,42a$	nie oznaczono
30	$90,55 \pm 0,21a$	$89,70 \pm 0,99a$	$87,90 \pm 2,40a$	$87,35 \pm 1,48a$
60	$90,00 \pm 0,42a$	$89,65 \pm 0,78a$	$89,45 \pm 0,92a$	$89,35 \pm 1,48a$
120	$90,45 \pm 0,07a$	$90,75 \pm 0,21a$	$89,35 \pm 0,78a$	$88,70 \pm 0,85a$
300	$90,65 \pm 0,35a$	$90,70 \pm 0,14a$	$90,70 \pm 0,14a$	$89,70 \pm 0,99a$
600	$92,65 \pm 1,06b$	$92,30 \pm 0,85ab$	$90,80 \pm 0,57ab$	$87,85 \pm 1,77a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 45.

Wyniki dotyczące karotenoidów: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Karotenoidy ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	0,28
		t 600 s	1,00	0,47	0,28

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Dane zestawione w tabeli 45 i 47, przedstawiające wyniki badań dla soku utrwalanego przy użyciu zimnej plazmy atmosferycznej (gazem procesowym było powietrze) również dowodzą, iż ta niekonwencjonalna metoda obróbki nie powoduje zmian w zawartości badanych barwników. Po 24 godzinach chłodniczego przechowywania sok pomidorowy od-

znaczał się zawartością karotenoidów równą $90,50 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$, natomiast obróbka plazmą przez 120 s skutkowała obniżeniem tej wartości tylko o 2%. Czas przechowywania powodował niewielkie zmniejszenie badanych związków, jednak różnice nie były statystycznie istotne.

Tabela 46.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Karotenoidy Kar ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)				
Czas działania plazmy t (s)	Czas przechowywania Tp (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$90,50 \pm 0,85b$	$89,95 \pm 0,35b$	$86,30 \pm 0,42a$	nie oznaczono
30	$91,35 \pm 0,21a$	$90,05 \pm 0,49a$	$90,90 \pm 1,27a$	$89,79 \pm 0,44a$
60	$91,10 \pm 0,42a$	$91,00 \pm 0,14a$	$90,10 \pm 1,13a$	$88,80 \pm 0,28a$
120	$88,75 \pm 0,64a$	$88,20 \pm 0,86a$	$87,69 \pm 1,71a$	$86,91 \pm 1,51a$
300	$90,00 \pm 0,14a$	$89,35 \pm 0,78a$	$89,30 \pm 0,57a$	$86,80 \pm 1,56a$
600	$89,57 \pm 0,39a$	$89,45 \pm 0,63a$	$90,84 \pm 0,08a$	$89,70 \pm 0,57a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 47.

Wyniki dotyczące karotenoidów: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Karotenoidy ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	0,39
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	1,00
		t 600 s	1,00	1,00	0,39

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Można przypuszczać, że pod wpływem działania zimnej plazmy atmosferycznej i tworzących się w tym procesie związków utleniających, a także wraz z wydłużeniem czasu przechowywania następuje degradacja karotenoidów (maleje udział barwy żółtej i jasność produktu).

Ramazzina i in. (2015) badając zawartość karotenoidów w owocach kiwi stwierdzili, że czas przechowywania powodował obniżenie zawartości karotenoidów w badanym owocu, ale w próbkach poddanych obróbce plazmą barwniki te były bardziej stabilne niż w próbkach kontrolnych.

Zwiększenie całkowitej zawartości likopenu po 600 s obróbki plazmą w stosunku do kontroli (w pierwszym dniu przechowywania) wyniosło 2% w przypadku gdy gazem procesowym był azot. Najniższą zawartość likopenu odnotowano po 10 dniach przechowywania, dla czasu obróbki plazmą wynoszącego 30 s - $74,25 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$ (tab. 48 i 49).

Tabela 48.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Czas działania plazmy t (s)	Likopen Lik ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)			
	Czas przechowywania T_p (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$77,50 \pm 0,71a$	$76,50 \pm 0,57a$	$72,55 \pm 0,07b$	nie oznaczono
30	$77,60 \pm 0,42a$	$77,05 \pm 1,34a$	$75,25 \pm 2,76a$	$74,25 \pm 1,91a$
60	$77,35 \pm 0,78a$	$77,20 \pm 0,85a$	$76,10 \pm 0,57a$	$75,65 \pm 1,06a$
120	$77,45 \pm 0,35a$	$77,25 \pm 0,21a$	$76,70 \pm 0,42a$	$76,05 \pm 0,49a$
300	$78,00 \pm 0,00a$	$78,05 \pm 0,21a$	$77,40 \pm 0,42a$	$76,35 \pm 1,48a$
600	$79,15 \pm 0,49a$	$79,15 \pm 0,49a$	$77,10 \pm 0,14a$	$74,95 \pm 2,47a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 49.

Wyniki dotyczące likopenu: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Likopen ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	1,00
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	1,00	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	0,19
		t 600 s	1,00	0,23	0,56

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Najwyższą zawartość badanego związku dla próbek poddanych działaniu zimnej plazmy atmosferycznej z użyciem powietrza obserwowano w pierwszym dniu przechowywania w soku poddanym działaniu plazmy przez 30 s - $77,50 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$, natomiast najniższą zawartość w przypadku próbek utrwalanych przez 120 s po tygodniu przechowywania - $73,90 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$ (tab. 50 i 51). Niezależnie od zastosowanego gazu procesowego test statystyczny nie wykazał istotnego wpływu czasu obróbki, jak i czasu przechowywania na badaną cechę.

Tabela 50.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Likopen Lik ($mg \cdot 100^{-1}$ g s.s.)				
	Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas działania plazmy t (s)	1	4	7	10
0 (kontrola)	77,50 $\pm$ 0,71a	76,50 $\pm$ 0,57a	72,55 $\pm$ 0,07b	nie oznaczono
30	77,50 $\pm$ 0,14a	77,40 $\pm$ 0,14a	77,30 $\pm$ 0,71a	76,00 $\pm$ 0,14a
60	76,65 $\pm$ 0,78a	77,15 $\pm$ 0,49a	76,70 $\pm$ 0,42a	75,45 $\pm$ 0,49a
120	75,20 $\pm$ 0,85a	74,60 $\pm$ 1,41a	73,90 $\pm$ 1,41a	74,00 $\pm$ 1,98a
300	76,15 $\pm$ 0,21a	76,10 $\pm$ 1,13a	76,35 $\pm$ 0,49a	76,55 $\pm$ 0,07a
600	76,30 $\pm$ 0,00a	75,85 $\pm$ 0,07a	77,05 $\pm$ 0,21a	76,45 $\pm$ 0,07a

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 51.

Wyniki dotyczące likopenu: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Likopen ($mg \cdot 100^{-1}$ g s.s.)	kontrola	Poziomy czynniki	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		t 30 s	1,00	1,00	0,28
		t 60 s	1,00	1,00	1,00
		t 120 s	0,28	1,00	1,00
		t 300 s	1,00	1,00	1,00
		t 600 s	1,00	1,00	0,28

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 52.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość kwasu askorbinowego KA ($mg \cdot 100^{-1}$ g s.s.)				
	Czas przechowywania T_p (dni)			
Czas działania Plazmy t (s)	1	4	7	10
0 (kontrola)	283,55 $\pm$ 0,35c	269,80 $\pm$ 0,85b	207,05 $\pm$ 1,63a	nie oznaczono
30	283,45 $\pm$ 1,77a	282,65 $\pm$ 3,75a	279,40 $\pm$ 3,11a	278,05 $\pm$ 1,20a
60	282,30 $\pm$ 4,24a	282,35 $\pm$ 3,32a	279,90 $\pm$ 0,14a	277,65 $\pm$ 0,21a
120	280,20 $\pm$ 0,71a	279,45 $\pm$ 0,07a	278,05 $\pm$ 1,63a	275,30 $\pm$ 2,97a
300	280,40 $\pm$ 1,13b	278,40 $\pm$ 1,41ab	278,00 $\pm$ 0,14ab	273,45 $\pm$ 2,76b
600	275,20 $\pm$ 4,10a	273,20 $\pm$ 1,70a	273,90 $\pm$ 2,55a	270,25 $\pm$ 3,89a

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

W kształtowaniu właściwości przeciwutleniających soków istotną rolę odgrywa kwas askorbinowy. Zawartość witaminy C w surowym soku pomidorowym (w pierwszym dniu przechowywania), wynosiła $283,55 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$ Dekontaminacja za pomocą zimnej plazmy, gdy gazem procesowym był azot spowodowała jedynie niewielką utratę witaminy C (maksymalnie 8% przy 600-sekundowym przetwarzaniu) i nie były to statystycznie istotne różnice w porównaniu z kontrolą (tab. 53). Niewielkie obniżenie zawartości kwasu askorbinowego podczas obróbki zimną plazmą może być związane z reakcjami utleniania, wspieranymi przez oddziaływanie wolnych rodników i ozonu powstających podczas tego procesu.

Tabela 53.

Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: *p*-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwas askorbinowy ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynników	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$t \text{ 30 s}$	1,00	0,15	0,56
		$t \text{ 60 s}$	1,00	0,23	0,19
		$t \text{ 120 s}$	1,00	1,00	1,00
		$t \text{ 300 s}$	1,00	1,00	1,00
		$t \text{ 600 s}$	0,40	1,00	1,00

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Tabela 54.

Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Zawartość kwasu askorbinowego KA ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)				
Czas działania plazmy t (s)	Czas przechowywania Tp (dni)			
	1	4	7	10
0 (kontrola)	$283,55 \pm 0,35c$	$269,80 \pm 0,85b$	$207,05 \pm 1,63a$	nie oznaczono
30	$284,10 \pm 0,42a$	$284,15 \pm 0,49a$	$283,90 \pm 0,85a$	$275,85 \pm 1,63a$
60	$281,55 \pm 1,91a$	$282,70 \pm 2,83a$	$282,30 \pm 1,84a$	$275,30 \pm 2,26a$
120	$278,80 \pm 1,41a$	$278,70 \pm 0,57a$	$275,85 \pm 2,05a$	$274,35 \pm 1,77a$
300	$282,30 \pm 2,69a$	$281,85 \pm 0,21a$	$282,64 \pm 3,30a$	$279,90 \pm 2,55a$
600	$282,65 \pm 0,49a$	$281,05 \pm 0,49a$	$286,05 \pm 0,21a$	$281,90 \pm 1,56a$

Wyniki wyrażono jako średnią $\pm$ błąd standardowy; różne litery w tym samym wierszu oznaczają istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Gdy gazem procesowym było powietrze (tab. 55) straty witaminy C były jeszcze mniejsze i po 24 godzinach chłodniczego przechowywania sok pomidorowy, poddany działaniu plazmy atmosferycznej przez 600 s, zawierał $282,65 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$ tego biologicznie aktywnego składnika.

Również czas przechowywania nie miał istotnego wpływu na zawartość kwasu askorbinowego w badanych próbkach (tab. 52 i 54)

Tabela 55.

Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Kwas askorbinowy ($\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{ g s.s.}$)	kontrola	Poziomy czynniki	Czas przechowywania (dni)		
			1	4	7
		$t \text{ 30 s}$	1,00	0,19	1,00
		$t \text{ 60 s}$	1,00	0,67	1,00
		$t \text{ 120 s}$	0,67	1,00	1,00
		$t \text{ 300 s}$	1,00	0,78	1,00
		$t \text{ 600 s}$	1,00	1,00	0,08

*- oznacza istotne różnice na poziomie istotności $<0,05$

Wang i in. (2012) badając fizykochemiczne właściwości owoców i warzyw poddanych obróbce zimną plazmą, również stwierdzili tylko niewielką redukcję zawartości witaminy C (mniej niż 4%). Straty te, cytowani autorzy tłumaczyli utleniającym wpływem zimnej plazmy oraz możliwością degradacji tego związku poprzez promieniowanie UV wytwarzane przez plazmę.

Sarangapani i in. (2017) odnotowali natomiast wzrost zawartości witaminy C w borówkach po obróbce plazmą z $8,91 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g}$ (próba kontrolna) do $14,01 \text{ mg} \cdot 100^{-1} \text{ g}$ dla owoców traktowanych przez 1 minutę przy napięciu 80 kV.

Według analiz Song i in. (2015) zawartość kwasu askorbinowego w próbkach sałaty mieściła się w zakresie od 2,2 do $7,5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ podczas przechowywania przez 12 dni w temperaturze 4 i 10°C . Moc generatora plazmowego, temperatura i czas przechowywania nie miały wpływu ($p > 0,05$) na badaną cechę.

5.3. Analiza mikrostruktury soku pomidorowego

Na rysunkach 28-32 zaprezentowano mikrostruktury soku pomidorowego widocznego w cyfrowej mikroskopii przy powiększeniu 100 x i 500 x.



a)



b)

Rys. 28. Mikrostruktura świeżego soku pomidorowego: w powiększeniu 100 x i b) w powiększeniu 500 x

Materiał świeży, który nie był poddany utrwalaniu (próba kontrolna) zawierał niezniszczone komórki z nienaruszonymi chromoplastami, czyli organellami, zawierającymi karotenoidy, w tym likopen (rys. 28 a), które można rozpoznać jako czerwone „igielki”, tzw. kryształy likopenu (rys. 28 b). Większość z nich to względnie miękkie komórki miąższowe związane z mezokarpem, ponieważ skóra i nasiona owoców pomidora zostały usunięte podczas produkcji soku.

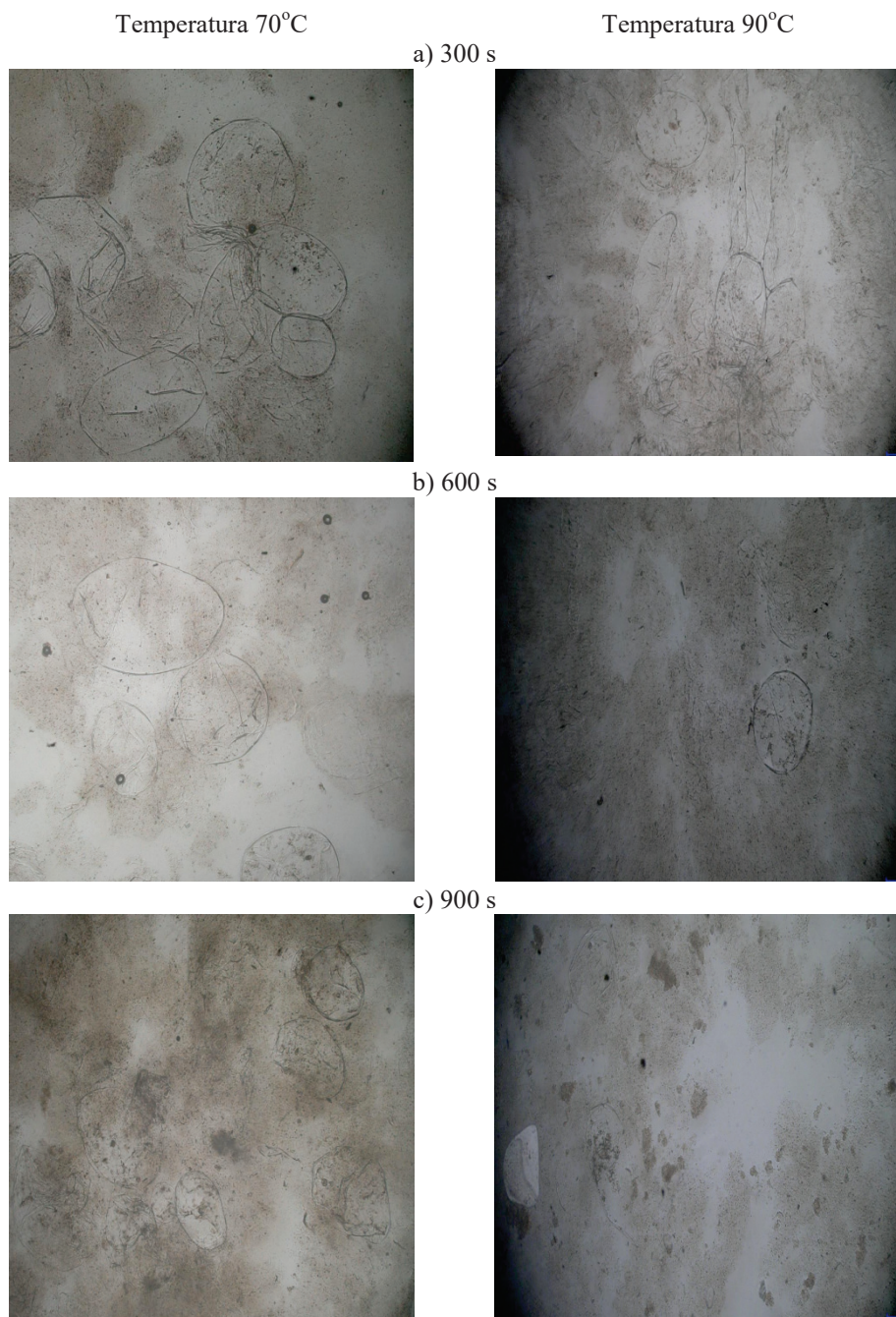
Na rysunku 29 a-c można zaobserwować wyraźne różnice struktury mikroskopowej soku pasteryzowanego w porównaniu z próbkami kontrolnymi. Materiał poddany cieplnemu utrwalaniu w temperaturze 70°C i 90°C przez 300 i 600 s charakteryzował się dużą ilością małych elementów złożonych ze ścian komórkowych i wewnętrznych składników zawieszonych w homogenacie soku. W produkcie poddanym pasteryzacji w temperaturze 90°C przez 900 s nie zaobserwowano nienaruszonych komórek (zabarwione karotenoidy wypłynęły z chromoplastów oraz z komórek do bezpostaciowej części soku).

Podobną dezintegrację komórek i organelli wewnątrzkomórkowych zaobserwowano na zdjęciach soku pomidorowego oraz pulpy pomidorowej poddanych homogenizacji wysokociśnieniowej HPH (Colle i in., 2010; Kubo, i in., 2013). Obrazy mikroskopowe wykonane przez Stratakos i in. (2016) kontrolnego soku pomidorowego prezentowały nietknięte komórki zawierające w sobie kryształy karotenoidów, natomiast materiał poddany działaniu mikrofal charakteryzował się uszkodzonymi komórkami z wewnętrznymi komponentami w zniszczonych komórkach, a także na zewnątrz zawieszonymi w homogenacie soku. Tan i Kerr (2015) stwierdzili, że wraz ze wzrostem ciśnienia homogenizacji, coraz trudniej było dostrzec wyraźne zarysy materiału komórkowego w przecierze pomidorowym, co sugeruje, że komórki zostały całkowicie uszkodzone i zabarwione karotenoidy wypłynęły z chromoplastów oraz z komórek do bezpostaciowej pulpy.

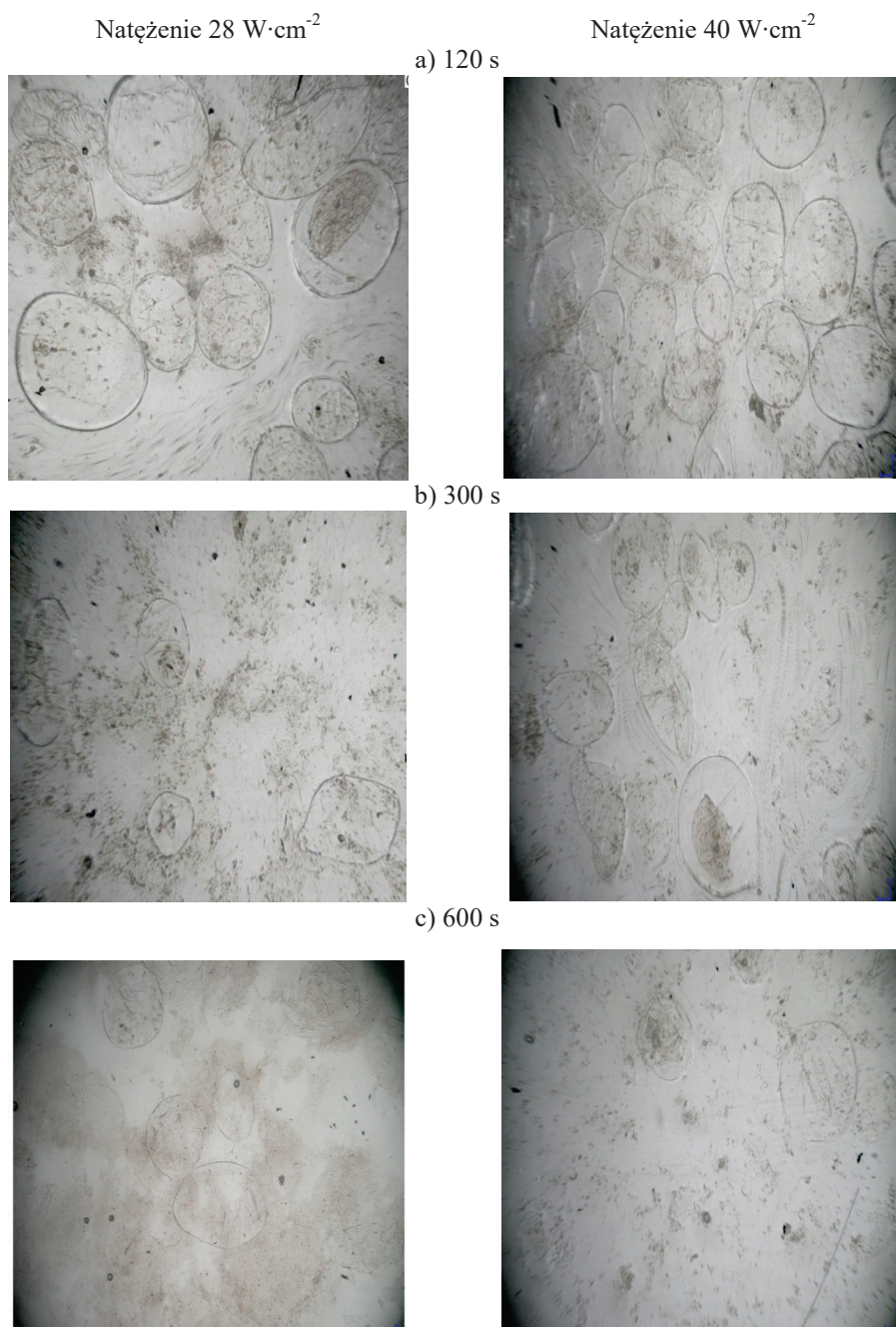
Na rysunku 30 a-c zaprezentowano zdjęcia z mikroskopu cyfrowego soku pomidorowego poddanego działaniu ultradźwięków przez 120, 300 i 600 sekund przy natężeniu wynoszącym 28 i 40 W·cm⁻².

Produkt poddany sonikacji przy natężeniu wynoszącym 28 i 40 W·cm⁻² przez 120 i 300 s zawierał skupiska komórek, jednak zwykle były one mniejsze i wykazywały oznaki plazmolizy (obkurczenia protoplastu i jego odklejanie od ściany komórkowej), w porównaniu z próbą kontrolną. Natomiast w soku poddanym sonikacji przez 600 s (szczególnie przy 40 W·cm⁻² natężenia) nie stwierdzono nienaruszonych komórek.

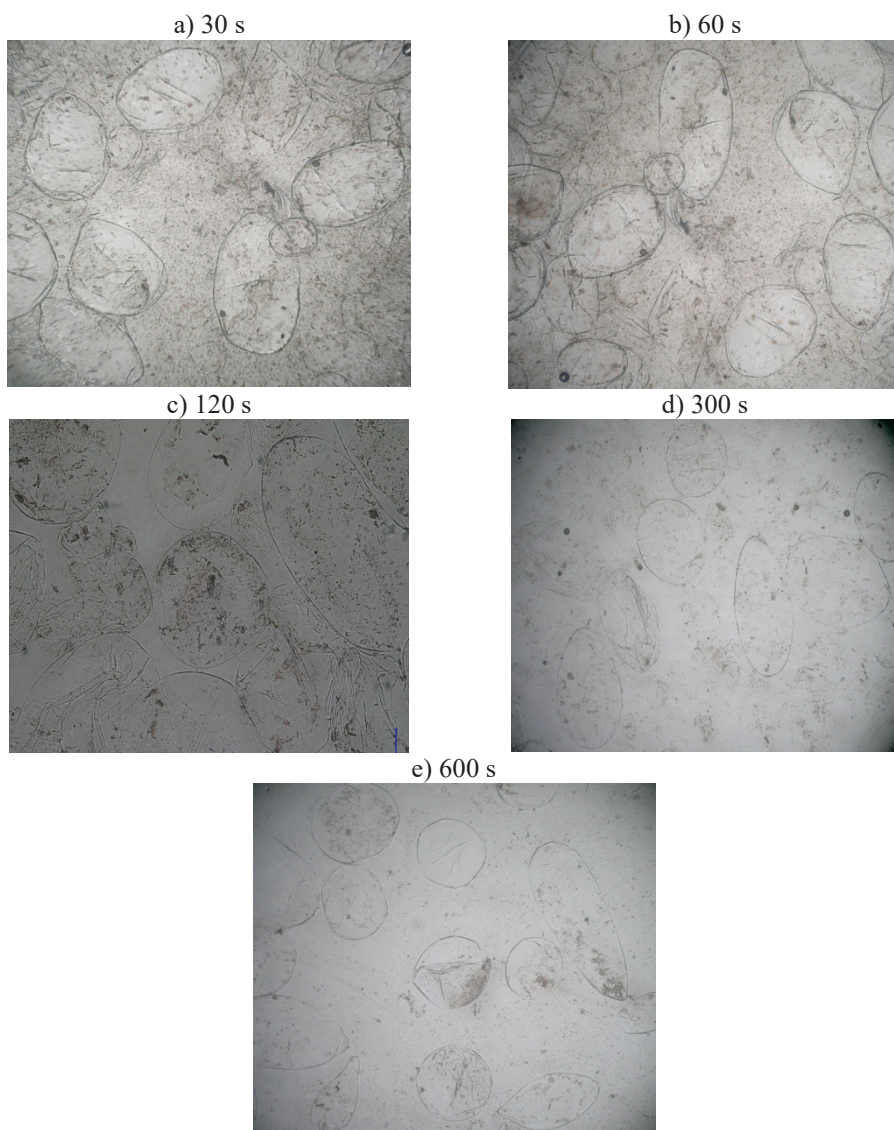
Anese i in. (2002) oraz Anese i in. (2015) w swoich publikacjach potwierdzili postępującą utratę integralności komórek wraz ze wzrostem czasu procesu ultradźwiękowego. Próbki potraktowane przez 15 i 30 minut wciąż prezentowały pewną liczbę nieuszkodzonych komórek, chociaż zniszczony materiał również został zaobserwowany w dużej ilości. Nie stwierdzono jednak żadnych nienaruszonych komórek w miążdze pomidorowej poddanej działaniu ultradźwięków przez 60 minut, a materiał złożony z rozbitych komórek był równomiernie rozprowadzony w próbce.



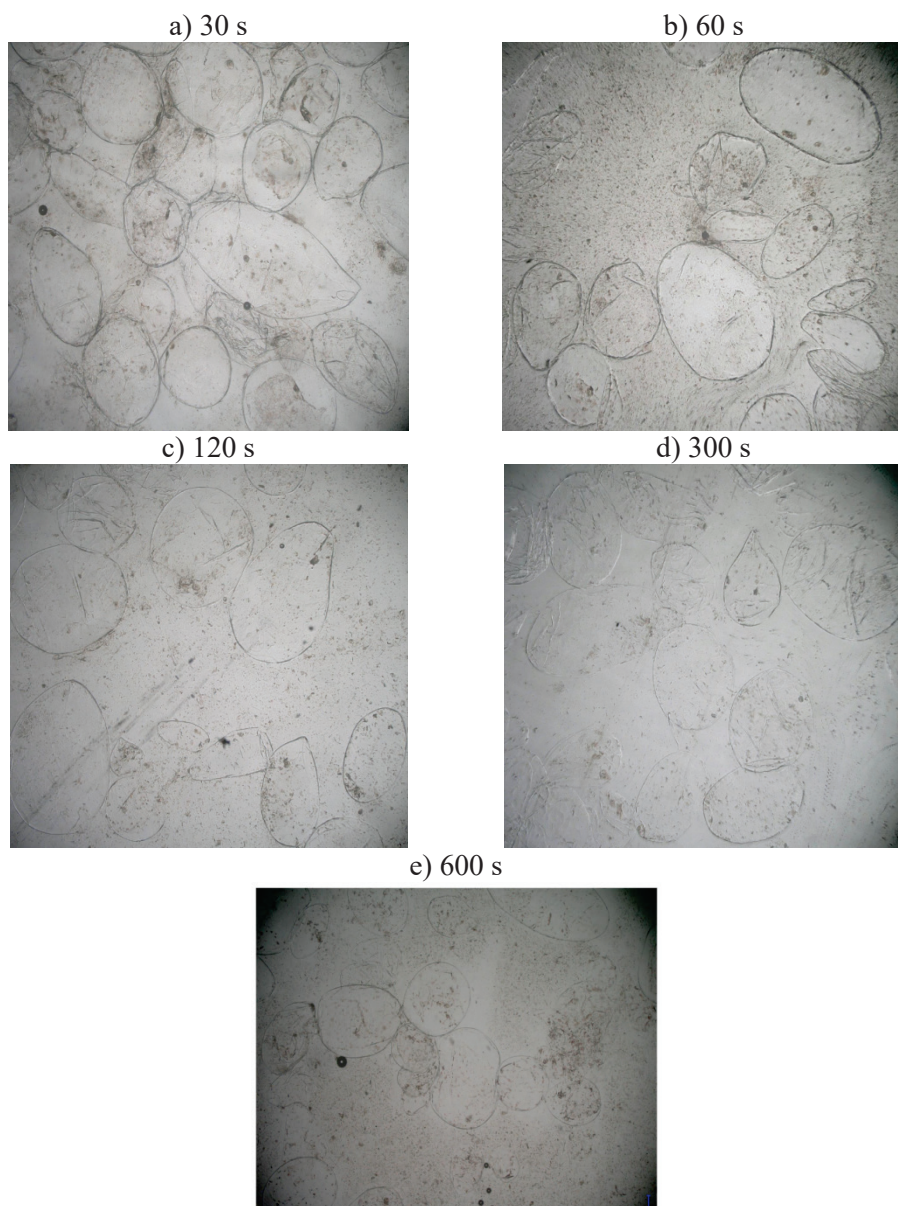
Rys. 29. Mikrostruktura soku pomidorowego pasteryzowanego w 70 i 90°C przez: a) 300 s, b) 600 s i c) 900 s



Rys. 30. Mikrostruktura soku pomidorowego sonikowanego przy natężeniu ultradźwięków wynoszącym 28 i $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ przez: a) 120 s , b) 300 s i c) 600 s



Rys. 31. Mikrostruktura soku pomidorowego poddanego działaniu zimnej plazmy atmosferycznej z użyciem azotu przez: a) 30 s, b) 60 s, c) 120 s, d) 300 s i e) 600 s



Rys. 32. Mikrostruktura soku pomidorowego poddanego działaniu zimnej plazmy atmosferycznej z użyciem powietrza przez: a) 30 s, b) 60 s, c) 120 s, d) 300 s i e) 600 s

Natomiast w soku pomidorowym poddanym działaniu zimnej plazmy atmosferycznej przez 30, 60, 120 s, w przypadku kiedy gazem procesowym był azot (rys. 31) oraz powietrze (rys. 32) zaobserwowano klastry komórkowe składające się z kilku komórek. Ponadto wewnątrz nienaruszonych chromoplastów można rozpoznać kryształy likopenu. Materiał poddany utrwalaniu przez 300 i 600 s składał się z całych komórek zawieszonych w homogenacie soku, jak i z komórek, w których widać amorficzne skupiska czerwonego barwnika, co świadczy o nieznacznym uszkodzeniu chromoplastów. Przedstawione w niniejszej pracy zdjęcia mikroskopowe są pierwszymi wynikami badań nad mikrostrukturą poddanego działaniu zimnej plazmy atmosferycznej soku pomidorowego.

6. PODSUMOWANIE

Prezentowane w pracy badania stanowią pewien etap poszukiwań nowatorskich technik obróbki żywności, prowadzących do uzyskania produktu spożywczego czystego mikrobiologicznie o wydłużonym terminie przydatności do spożycia oraz charakteryzującego się wszystkimi niezbędnymi wartościami odżywczymi.

Podczas obróbki cieplnej następuje wiele pozytywnych, jak i negatywnych zmian w ogrzewanym materiale. Inaktywacji ulegają mikroorganizmy, następuje zwiększenie strawności i przyswajalności pożywienia oraz wydzielają się i powstają nowe substancje smakowo-zapachowe. Niestety wysoka temperatura powoduje straty niektórych składników odżywczych (szczególnie wrażliwa i nietrwała termicznie jest witamina C).

Świeżo tłoczony sok pomidorowy dostarcza organizmowi człowieka niezbędnych składników wpływających na jego prawidłowe funkcjonowanie. Do najważniejszych z nich należą substancje aktywne biologicznie, czyli karotenoidy, w tym likopen oraz witamina C. Pomimo prozdrowotnych właściwości soku z pomidorów (zmniejsza ryzyko chorób układu krążenia i nowotworów oraz wzmacnia odporność) produkt ten może być rezerwuarem naturalnej mikroflory, a także nośnikiem niebezpiecznych drobnoustrojów patogennych.

Zastosowana i opisana w niniejszej pracy pasteryzacja przeprowadzona w temperaturze 70°C pozwoliła na zniszczenie znajdujących się w soku drobnoustrojów po 900 s obróbki. Gdy temperaturę procesu zwiększono do 90°C, w soku pomidorowym po 600 s pasteryzacji nie zanotowano obecności mezofilnych drobnoustrojów tlenowych, bakterii typu mlekowego, bakterii z grupy coli oraz drożdży. Inaktywowanie tych mikroorganizmów pozwoliło przedłużyć trwałość produktu do 10 dni. Niestety wysoka temperatura jaka towarzyszyła procesowi pasteryzacji przyczyniła się do zmiany wartości odżywczej soku pomidorowego. W przypadku pasteryzacji w niższej temperaturze (w 1 dniu przechowywania) zanotowano niewielki wzrost zawartości karotenoidów ogółem i likopenu (nie były to jednak różnice statystycznie istotne), nastąpiła jednak degradacja witaminy C o około 32% w porównaniu z próbą kontrolną. Natomiast proces przeprowadzony w wyższej temperaturze spowodował nie tylko obniżenie zawartości witaminy C o 33%, ale i niekorzystne zmiany w zawartości barwników.

W pracy wykazano również, że dzięki odpowiednio dobranym parametrom procesu sonikacji można otrzymać sok pomidorowy charakteryzujący się dobrą, stabilną jakością mikrobiologiczną. Obróbka za pomocą ultradźwięków przez 300 s przy natężeniu 40 W·cm⁻² i przez 600 s przy 28 W·cm⁻² natężenia pozwoliła na otrzymanie produktu czystego mikrobiologicznie, pozbawionego drobnoustrojów odpowiedzialnych za jego psucie nawet po 10 dniach przechowywania. Ilość rozpatrywanych mikroorganizmów została zmniejszona do niewykrywalnego poziomu (<10 jtk·g⁻¹). Jednak podobnie jak w przypadku pasteryzacji, w soku pomidorowym doszło do obniżenia zawartości kwasu askorbinowego: już po 300 s sonikacji nastąpił jego 10% spadek ($I=40$ W·cm⁻²). Prawdopodobnie było to związane z oddziaływaniem ciepła generowanego przez fale ultradźwiękowe docierające do wnętrza soku. Dlatego też, planując dalsze badania, materiał biologiczny należy ochładzać, np. poprzez zastosowanie płaszcza wodnego. Zmiany w zawartości karotenoidów ogółem oraz likopenu po procesie sonikacji nie różniły się statystycznie istotnie w porównaniu z sokiem, który nie był poddany utrwalnianiu.

Przedstawione w monografii wyniki badań dotyczące zastosowania zimnej plazmy atmosferycznej generowanej w reaktorze plazmowym Glide-arc wykazały, iż ta technika obróbki już po 300 s spowodowała znaczącą poprawę jakości mikrobiologicznej soku pomidorowego i przedłużenie jego przydatności do spożycia do 10 dni przy zastosowaniu plazmy zarówno z powietrzem, jak i z azotem (biorąc pod uwagę całkowitą liczbę drobnoustrojów tlenowych oraz liczbę drożdży dopuszczalną dla soków pasteryzowanych wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r.). Wydłużenie czasu obróbki zimną plazmą do 600 s umożliwiło dalszą redukcję liczby mikroorganizmów w porównaniu z 300 sekundowym czasem jej działania. Ogólna liczba drobnoustrojów, w tym: bakterii typu mlekowego, bakterii z grupy coli oraz drożdży została zredukowana do poziomu $<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($<1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), tzn. poniżej granicy oznaczalności. Przedstawione w pracy wyniki badań dla soku utrwalanego przy użyciu zimnej plazmy atmosferycznej (niezależnie od zastosowanego gazu roboczego) dowodzą, iż nie ma ona wpływu (brak statystycznie istotnych różnic w porównaniu z próbą kontrolną) na zawartość karotenoidów ogółem i likopenu. W pierwszym dniu przechowywania straty witaminy C w przypadku plazmy generowanej z użyciem azotu wynosiły tylko niecałe 3% (po 600 s obróbki), natomiast z użyciem powietrza poniżej 1%.

Próbki soku pomidorowego poddane działaniu zimnej plazmy atmosferycznej charakteryzowały się nienaruszoną strukturą widoczną w cyfrowej mikroskopii.

Zimna plazma atmosferyczna generowana w urządzeniu Glide-arc, stosowana przez czas od 300 do 600 s okazała się najlepszą (spośród badanych) metodą obróbki soku pomidorowego, gdyż nie miała istotnego wpływu na mikrostrukturę i właściwości fizykochemiczne produktu, a jednocześnie wykazywała wysoki potencjał w dekontaminacji mikroorganizmów.

Z dostępnych informacji wynika, że analizowany proces jest niedostatecznie omówiony w piśmiennictwie krajowym, jak i zagranicznym oraz nie funkcjonuje żadna linia technologiczna, w której do utrwalania soków owocowych czy warzywnych zastosowano zimną plazmę atmosferyczną. Wykorzystanie tej techniki obróbki niesie za sobą wiele korzyści dotyczących zarówno jakości mikrobiologicznej, jak i wartości odżywczej uzyskiwanych produktów. Wyniki przedstawione w niniejszej pracy mogą przyczynić się do wykorzystania tej metody na skalę przemysłową.

7. LITERATURA

- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M. M., Hu, B., Lei, S., Zeng, X. (2013). Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1182-1187.
- Abushita, A. A., Daood, H. G., Biacs, P. A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2075-2081.
- Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., O'donnell, C. P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3), 500-507.
- Adekunte, A., Tiwari, B. K., Scannell, A., Cullen, P. J., O'donnell, C. (2010). Modelling of yeast inactivation in sonicated tomato juice. *International Journal of Food Microbiology*, 137(1), 116-120.
- Almeida, F. D. L., Cavalcante, R. S., Cullen, P. J., Frias, J. M., Bourke, P., Fernandes, F. A., Rodrigues, S. (2015). Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 127-135.
- Aneja, K. R., Dhiman, R., Aggarwal, N. K., Aneja, A. (2014). Emerging preservation techniques for controlling spoilage and pathogenic microorganisms in fruit juices. *International Journal of Microbiology*, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/758942>.
- Anese, M., Falcone, P., Fogliano, V., Nicoli, M. C., Massini, R. (2002). Effect of equivalent thermal treatments on the color and the antioxidant activity. *Journal of Food Science*, 67(9), 3442-3446.
- Anese, M., Bot, F., Panozzo, A., Mirolo, G., Lippe, G. (2015). Effect of ultrasound treatment, oil addition and storage time on lycopene stability and *in vitro* bioaccessibility of tomato pulp. *Food Chemistry*, 172, 685-691.
- Artes, F., Allende, A. (2015). *Minimal processing of fresh fruit, vegetables, and juices*. In *Emerging Technologies for Food Processing* (Second Edition). Academic Press, USA. ISBN 978-0-12-411479-1.
- Ayhan, Z., Yeom, H. W., Zhang, Q. H., Min, D. B. (2001). Flavor, color, and vitamin C retention of pulsed electric field processed orange juice in different packaging materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 669-674.
- Bagci, U., Temiz, A. (2011). Microbiological quality of fresh-squeezed orange juice and efficacy of fruit surface decontamination methods in microbiological quality. *Journal of Food Protection*, 74(8), 1238-44.
- Balestra, F., Cocci, E., Marsilio, G., Dalla Rosa, M. (2011). Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage. *Procedia Food Science*, 1, 576-582.
- Basaran, P., Basaran-Akgul, N., Oksuz, L. (2008). Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. *Food Microbiology*, 25(4), 626-632.
- Belter, A., Giel-Pietraszuk, M., Oziewicz, S., Chomczyński, P., Barciszewski, J. (2011). Likopen - występowanie, właściwości oraz potencjalne zastosowanie. *Postępy Biochemii*, 57(4), 372-380.
- Bermúdez-Aguirre, D., Barbosa-Cánovas, G. V. (2012). Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in pineapple, grape and cranberry juices under pulsed and continuous thermo-sonication treatments. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 383-392.
- Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Campaniello, D., D'Amato, D., Gallo, M., Speranza, B., Sinigaglia, M. (2011). Shelf life prolongation of fruit juices through essential oils and homogenization: a review. *Science Against Microbial Pathogens: communicating current research and technological advances*, 3, 1157-1166.
- Bhat, R., Kamaruddin, N. S. B. C., Min-Tze, L., Karim, A. A. (2011). Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(6), 1295-1300.

- Bizri, J. N., Wahem, I. A. (1994).** Citric acid and antimicrobials affect microbiological stability and quality of tomato juice. *Journal of Food Science*, 59(1), 130-135.
- Böhm, F., Edge, R., Burke, M., Truscott, T. G. (2001).** Dietary uptake of lycopene protects human cells from singlet oxygen and nitrogen dioxide-ROS components from cigarette smoke. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 64(2-3), 176-178.
- Bolonkowska, O., Pietrosiuk, A., Sykłowska-Baranek, K. (2011).** Roślinne związki barwne i ich właściwości biologiczne oraz możliwości wytwarzania w kulturach *in vitro*. *Biuletyn Wydziału Farmacji. WUM*, 1, 1-27.
- Bot, F., Anese, M., Hungerford, G., Lemos M. A. (2017).** Effect of high frequency ultrasounds on lycopene and total phenolic concentration, antioxidant properties and α -glucosidase inhibitory activity of tomato juice. *Italian Journal of Food Science*, 29(3), 424-433.
- Brisset, J. L., Pawlat, J. (2016).** Chemical effects of air plasma species on aqueous solutes in direct and delayed exposure modes: discharge, post-discharge and plasma activated water. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 36(2), 355-381.
- Bruggeman, P. J., Kushner, M. J., Locke, B. R., Gardeniers, J. G., Graham, W. G., Graves, D. B., ... Rivas, D. F. (2016).** Plasma-liquid interactions: a review and roadmap. *Plasma Sources Science and Technology*, 25(5), 053002.
- Cendrowski, A., Ścibisz, I., Mitek, M. (2011).** Wpływ warunków przechowywania na zawartość hydroksymetylofurfuralu, furfuralu i kwasu askorbinowego w dżemach z owoców jagodowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6(79), 155-166.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2011)** Foodborne Outbreaks Online Database (FOOD), <http://wwwn.cdc.gov/foodborneoutbreaks/default.aspx>
- Charles-Rodríguez, A. V., Nevárez-Moorillón, G. V., Zhang, Q. H., Ortega-Rivas, E. (2007).** Comparison of thermal processing and pulsed electric fields treatment in pasteurization of apple juice. *Food and Bioprocess Processing*, 85(2), 93-97.
- Chen, B. H., Peng, H. Y., Chen, H. E. (1995).** Changes of carotenoids, color, and vitamin A contents during processing of carrot juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7), 1912-1918.
- Chen H. E., Peng H. Y., Chen, B. H. (1996).** Stability of carotenoids and vitamin A during storage of carrot juice. *Food Chemistry*, 57(4), 497-503.
- Cheng, L. H., Soh, C. Y., Liew, S. C., The, F. F. (2007).** Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chemistry*, 104(4), 1396-1401.
- Commission Regulation (EC) No 2073/2005** of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs.
- Choi, M. H., Kim, G. H., Lee, H. S. (2002).** Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, 35(8), 753-759.
- Colle, I., Van Buggenhout, S., Van Loey, A., Hendrickx, M. (2010).** High pressure homogenization followed by thermal processing of tomato pulp: Influence on microstructure and lycopene *in vitro* bioaccessibility. *Food Research International*, 43(8), 2193-2200.
- Cortés, C., Esteve, M. J., Frígola, A. (2008).** Color of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control*, 19(2), 151-158.
- Czaplińska, M., Czepas, J., Gwozdziński, K. (2012).** Budowa, właściwości przeciwutleniające i przeciwnowotworowe flawonoidów. *Postępy Biochemii*, 58, 235-240.
- Czapski, J. (2007).** Wpływ procesów przetwórczych na właściwości antyoksydacyjne owoców i warzyw. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo - Warzywny*, 11, 8-9.
- Czarniecka-Skubina, E., Dudzińska, B., Zalewski, S. (1997).** Wpływ stopnia przetworzenia na jakość i poziom skażeń marchwi. *Przemysł Spożywczy*, 8(51), 42-44.
- Czczot, H. (2000).** Flawonoidy - naturalne antyoksydanty w naszej diecie. *Żywnienie Człowieka i Metabolizm*, 27(4), 372-382.

- Cunningham, F. E. (1995). Egg product pasteurization. *Egg Science and Technology*, 4, 289-315.
- Dasan, B. G., Boyaci, I. H. (2018). Effect of Cold Atmospheric Plasma on Inactivation of *Escherichia coli* and Physicochemical Properties of Apple, Orange, Tomato Juices, and Sour Cherry Nectar. *Food and Bioprocess Technology*, 11(2), 334-343.
- Dasan, B. G., Onal-Ulusoy, B., Pawlat, J., Diatczyk, J., Sen, Y., Mutlu, M. (2017). A new and simple approach for decontamination of food contact surfaces with gliding arc discharge atmospheric non-thermal plasma. *Food and Bioprocess Technology*, 10(4), 650-661.
- del Socorro Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., León-Rivera, J. E., Delgado-Olivares, L., Alanís-García, E., Ariza-Ortega, J. A., Jaramillo-Bustos, D. P. (2015). Shelf life, physico-chemical, microbiological and antioxidant properties of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) juice after thermoultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 277-286.
- Davey, M. W., Montagu, M. V., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Fletcher J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825-860.
- Djadouni, F., Mebrouk, K., Miloud, H. (2015). Control of *E. coli* and spoilage microorganisms in tomato sauce and paste using a synergistic antimicrobial formula. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(5), 1352-1360.
- Dobson, G., McDougall, G. J., Stewart, D., Cubero, M. Á., Karjalainen, R. O. (2017). Effects of juice matrix and pasteurization on stability of black currant anthocyanins during storage. *Journal of Food Science*, 82(1), 44-52.
- Dyśko, J., Kowalczyk, W., Nowak, J. (2014). *Zrównoważone nawożenie roślin ogrodnich. Opracowanie zbiorowe*, Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice. ISBN 978-83-89800-57-2.
- El Darra, N., Turk, M. F., Ducasse, M. A., Grimi, N., Maroun, R.G., Louka, N., Vorobiev, E. (2016). Changes in polyphenol profiles and color composition of freshly fermented model wine due to pulsed electric field, enzymes and thermovinification pretreatments. *Food Chemistry*, 194, 944-950.
- Esteve, M. J., Farré, R., Frígola, A. (1996). Stability of ascorbic acid in orange juices after initial use at home begins. *Journal of Food Quality*, 19(3), 243-249.
- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Roupheal, Y., Azzini, E., Saccardo, F. (2006). Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4319-4325.
- Fernández, A., Noriega, E., Thompson, A. (2013). Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. *Food Microbiology*, 33(1), 24-29.
- Fijalkowska, A., Nowacka, M., Witrowa-Rajchert, D. (2015). Wpływ fal ultradźwiękowych na przebieg suszenia i wybrane właściwości tkanki buraka cukrowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(99), 138 - 149.
- Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., Collins, J. K. (2002). A Quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 309-317.
- Floros, J. D., Liang, H. (1994). Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *Food Technology*, 48(12), 79-84.
- Frank, K., Köhler, K., Schuchmann, H. P. (2012). Stability of anthocyanins in high pressure homogenisation. *Food Chemistry*, 130(3), 716-719.
- Gabriel, A. A. (2012). Microbial inactivation in cloudy apple juice by multi-frequency Dynashock power ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(2), 346-351.
- Gahler, S., Otto, K., Böhm, V. (2003). Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27), 7962-7968.
- García, M., Casariego, A., Diaz, R., Roblejo, L. (2014). Effect of edible chitosan/zeolite coating on tomatoes quality during refrigerated storage. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, 26(3), 238-246.

- Garro, M. S., de Valdez, G. F., Oliver, G., de Giori, G. S. (1999).** Hydrolysis of soya milk oligosaccharides by *Bifidobacterium longum* CRL849. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung A*, 208(1), 57-59.
- Gientka, I., Chlebowska-Śmigiel, A., Sawikowska, K. (2012).** Microbiological quality changes during storage of carrot juices. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLV, 3, 397-401.
- Główny Inspektorat Sanitarny - Stan sanitarny kraju w roku 2015** http://gis.gov.pl/images/gis_stan_2015_internet_jb.pdf.
- González-Casado, S., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P., Soliva-Fortuny, R. (2018).** Enhancing the carotenoid content of tomato fruit with pulsed electric field treatments: Effects on respiratory activity and quality attributes. *Postharvest Biology and Technology*, 137, 113-118.
- Grabowski, M., Dąbrowski, W. (2014).** Technologie plazmowe do sterylizacji żywności. *Przemysł Spożywczy*, 68(4), 4-6.
- Grappin, R., Beuquier, E. (1997).** Possible implications of milk pasteurization on the manufacture and sensory quality of ripened cheese. *International Dairy Journal*, 7(12), 751-761.
- Gryszczyńska, A., Gryszczyńska, B., Opala, B. (2011).** Karotenoidy. Naturalne źródła, biosynteza, wpływ na organizm ludzki. *Postępy Fitoterapii*, 2, 127-143.
- Grzegorzczuk, M., Żarowska, B., Polomska, X., Wojtatowicz, M., Szalewicz, A., Wątopek, W. (2015).** Drobnoustroje w biologicznej ochronie roślin przed chorobami grzybowymi. *Acta Scientiarum Polonorum: Biotechnologia*, 14(2), 19-42.
- Guerrouj, K., Sánchez-Rubio, M., Taboada-Rodríguez, A., Cava-Roda, R. M., Marín-Iniesta, F. (2016).** Sonication at mild temperatures enhances bioactive compounds and microbiological quality of orange juice. *Food and Bioprocess Processing*, 99, 20-28.
- Gwóźdź, E., Gębczyński, P. (2015).** Health promoting properties of fruits, vegetables and their products. *Postępy Fitoterapii*, 4, 268-271.
- Hallmann, E. (2012).** The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 2840-2848.
- Hallmann, E., Rembialkowska, E., Lipowski, J., Marszałek K. (2010).** The estimation of nutritive and sensory value of the pasteurized tomato juice from organic and conventional production. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 55(3), 105-111.
- Hallmann, E., Sikora, M., Rembialkowska, E., Marszałek, K., Lipowski, J. (2011).** The influence of pasteurization process on nutritive value of carrot juices from organic and conventional production. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 56(3), 133.
- Hallmann, E., Rembialkowska, E. (2008).** Estimation of nutritive and sensory value of tomatoes and tomato juices from organic and conventional production. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53(3), 88-95.
- Hayes, A. E. (2016).** Diet high in lycopene might reduce prostate cancer risk. *Pharmacy Today*, 22(7), 24.
- Hayes, W. A., Smith, P. G., Morris, A. E. J. (1998).** The production and quality of tomato concentrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 537-544.
- Hsu, K. C. (2008).** Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and pressure processing. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 450-459.
- Hsu, K. C., Tan, F. J., Chi, H. Y. (2008).** Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 367-375.
- Igielska-Kalwat, J., Wawrzyńczak, A., Nowak, I. (2012).** Karotenoidy i ich zastosowanie w przemyśle kosmetycznym na przykładzie β -karotenu. *Chemik*, 66(2), 140-144.
- Ikawa, S., Kitano, K., Hamaguchi, S. (2010).** Effects of pH on bacterial inactivation in aqueous solutions due to low-temperature atmospheric pressure plasma application. *Plasma Processes and Polymers*, 7(1), 33-42.

- Iqbal, M. N., Anjum, A. A., Ali, M. A., Hussain, F., Ali, S., Muhammad, A., Irfan, M., Ahmad, A., Irfan, M., Shabbir, A. (2015). Assessment of microbial load of un-pasteurized fruit juices and *in vitro* antibacterial potential of honey against bacterial isolates. *The Open Microbiology Journal*, 9, 26-32.
- Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Wu, T., Hashim, M. M., Lei, S., Zeng X. (2014). Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 16-21.
- Jabłońska-Ryś, E., Zalewska-Korona, M. (2009). The colour analysis and the content of carotenoids in fruits of new breeding lines of tomatoes. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 3, 926-931.
- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Paniwnyk, L., Lelas, V. (2007). Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 88-97.
- Janda, K., Kasprzak, M., Wolska J. (2015). Vitamin C - structure, properties, occurrence and functions. *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 61(4), 419-425.
- Jaroszevska, E., Pietracha, D., Misiewicz, A. (2014). Patogeny człowieka w żywności pochodzenia roślinnego-wady i zalety zastosowania techniki real-time PCR do ich wykrywania. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 69(1), 44-54.
- Javanmardi, J., Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 151-155.
- Jayathunge, K. G. L. R., Grant, I. R., Linton, M., Patterson, M. F., Koidis, A. (2015). Impact of long-term storage at ambient temperatures on the total quality and stability of high-pressure processed tomato juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 1-8.
- Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., Brulé, G. (Eds.). (2016). Handbook of Food Science and Technology 1: Food Alteration and Food Quality. John Wiley & Sons, USA. ISBN: 978-1-848-21932-8.
- Jin, T. Z., Yu, Y., Gurtler, J. B. (2017). Effects of pulsed electric field processing on microbial survival, quality change and nutritional characteristics of blueberries. *LWT-Food Science and Technology*, 77, 517-524.
- Kek, S. P., Chin, N. L., Yusof, Y. A. (2013). Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 495-506.
- Kim, S. J., Nara, E., Kobayashi, H., Terao, J., Nagao, A. (2001). Formation of cleavage products by autoxidation of lycopene. *Lipids*, 36(2), 191.
- Knabel, S. J., Walker, H. W., Hartman, P. A., Mendonca, A. F. (1990). Effects of growth temperature and strictly anaerobic recovery on the survival of *Listeria monocytogenes* during pasteurization. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(2), 370-376.
- Kobus, Z. (2002). Wpływ wstępnej obróbki ultradźwiękowej na lepkość miazgi jabłkowej. *Inżynieria Rolnicza*, 9(42), 119-124.
- Kobus, Z. (2005). Wpływ wstępnej obróbki ultradźwiękowej na proces tłoczenia soku marchwiowego. *Inżynieria Rolnicza*, 11(71), 219-226.
- Kobus, Z. (2006). Zmiany temperatury miazgi marchwiowej podczas procesu sonifikacji. *Inżynieria Rolnicza*, 10, 255-261.
- Kodeks praktyki do oceny soków owocowych i warzywnych. (2001). Polish language edition, KUPSiNB, Warszawa.
- Kołozyn-Krajewska, D. (Ed.). (2007). *Higiena produkcji żywności*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. ISBN 978-83-7583-395-9.
- Kowal, K. (2012). Wpływ aktywności wody na wzrost drobnoustrojów. *Przemysł Spożywczy*, 66, 50-52.

- Kowalska, M., Gajownik, B., Suminska, T., Baryga, A. (2016). Parametry mikrobiologiczne i fizykochemiczne soku surowego z buraków cukrowych przed i po ozonowaniu. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 23(3), 140-152.
- Krisch, J., Chandrasekaran, M., Kadaikunnan, S., Alharbi, N. S., Vágvölgyi, C. (2016). Latest about spoilage by yeasts: focus on the deterioration of beverages and other plant-derived products. *Journal of Food Protection*, 79(5), 825- 829.
- Krosowiak, K., Śmigieński, K., Dziugan, P. (2007). Zastosowanie ozonu w przemyśle spożywczym. *Przemysł Spożywczy*, 11(61), 26-29.
- Kryża, K., Szczepanik, G. (2010). Zastosowanie techniki zimnej plazmy jako nowoczesna technologia zabezpieczania surowców żywnościowych. *RSI Klaster Spożywczy*, 334, rsi.org.pl/index.php/pl/Nowosci/8.
- Kubo, M. T. K., Augusto, P. E., Cristianini, M. (2013). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. *Food Research International*, 51(1), 170-179.
- Kukulowicz, A., Steinka, I. (2009). Wpływ parametrów pasteryzacji na jakość mikrobiologiczną miazgi aloesowej. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLII (3), 583-587.
- Kunicka, A. (2004). Zagrożenia mikrobiologiczne w produkcji soków owocowych. *Przemysł Spożywczy*, 58, 42-45.
- Kwiatkowski, M., Terebun, P., Krupski, P., Samoń, R., Diatczyk, J., Pawlat, J., Stryczewska, H. (2014). Właściwości i zastosowania reaktorów plazmowych typu dysza plazmowa. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 3, 31-35.
- Lamanauskas, N., Pataro, G., Bobinas, Č., Šatkauskas, S., Viškelis, P., Bobinaitė, R. Ferrari, G. (2016). Impact of pulsed electric field treatment on juice yield and recovery of bioactive compounds from raspberries and their by-products. *Žemdirbystė*, 103(1), 83-90.
- Lee, K., Paek, K. H., Ju, W. T., Lee, Y. (2006). Sterilization of bacteria, yeast, and bacterial endospores by atmospheric-pressure cold plasma using helium and oxygen. *The Journal of Microbiology*, 44(3), 269-275.
- Lee, S. Y., Dougherty, R. H., Kang, D. H. (2002). Inhibitory effect of high pressure and heat on *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 4158-4161.
- Leistner, L. (1992). Food preservation by combined methods. *Food Research International*, 25(2), 151-158.
- Liao, X., Li, J., Muhammad, A. I., Suo, Y., Chen, S., Ye, X., Ding, T. (2018). Application of a Dielectric Barrier Discharge Atmospheric Cold Plasma (Dbd-Acp) for *Escherichia Coli* inactivation in apple juice. *Journal of Food Science*, 83(2), 401-408.
- Libudzisz, Z., Kowal, K., Żakowska, Z. (Eds.). (2000). Mikrobiologia techniczna. *Mikroorganizmy i środowiska ich występowania*. Tom I, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. ISBN 978-83-01-15221-5.
- Löning, J. M., Horst, C., Hoffmann, U. (2002). Investigations on the energy conversion in sonochemical processes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 9(3), 169-179.
- Lu, X., Naidis, G. V., Laroussi, M., Reuter, S., Graves, D. B. Ostrikov, K. (2016). Reactive species in non-equilibrium atmospheric-pressure plasmas: generation, transport, and biological effects. *Physics Reports*, 630, 1-84.
- Malletroit, V., Guinard, J. X., Kunkee, R. E., Lewis, M. J. (1991). Effect of pasteurization on microbiological and sensory quality of white grape juice and wine. *Journal of Food Processing and Preservation*, 15(1), 19-29.
- Margosch, D., Ganzle, M., Ehrmann, M. A., Vogel, R. F. (2004). Pressure Inactivation of *Bacillus Endospores*. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(12), 7321-7328.
- Marszałek, K., Mitek, M., Skąpska, S. (2011). Zastosowanie wysokich ciśnień hydrostatycznych (UHP) do utrwalania soków i nektarów truskawkowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(74), 112-123.

- Marszałek, K., Mitek, M. (2012). Wpływ parametrów procesu ciśnieniowania na pojemność przeciwtleniającą puree truskawkowego utrwalonego metodą UHP. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 571, 79-85.
- Marszałek, K., Wozniak, L., Skąpska, S. (2014). Wysokie ciśnienia w przemyśle owocowo-warzywnym. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 11(58), 12-15.
- Marx, M., Stuparic, M., Schieber, A., Carle, R. (2003). Effects of thermal processing on trans-cis-isomerization of β -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry*, 83(4), 609-617.
- Maasland, D. H., van den Brandt, P. A., Kremer, B., Goldbohm, R. A., Schouten, L. J. (2015). Consumption of vegetables and fruits and risk of subtypes of head-neck cancer in the Netherlands cohort study. *International Journal of Cancer*, 136(5), E396-E409.
- Mason, T. J., Paniwnyk, L., Lorimer, J. P. (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3(3), 253-260.
- Matthews, K. R. (2006). Microorganisms associated with fruits and vegetables. Microbiology of fresh produce. *American Society of Microbiology*, 1-19.
- Mert, M., Buzrul, S., Alpas, H. (2013). Effects of high hydrostatic pressure on microflora and some quality attributes of grape juice. *High Pressure Research*, 33(1), 55-63.
- Misra, N. N., Keener, K. M., Bourke, P., Mosnier, J. P., Cullen, P. J. (2014). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 118(2), 177-182.
- Moldau, H. (1998). Hierarchy of ozone scavenging reactions in the plant cell wall. *Physiologia Plantarum*, 104(4), 617-622.
- Nawirska-Olszanska, A., Biesiada, A., Kucharska, A. Z., Sokol-Letowska, A. (2012). Wpływ sposobu przygotowania i warunków przechowywania przetworów z owoców dyni olbrzymiej z dodatkiem owoców pigwowca i derenia na ich właściwości fizykochemiczne. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 19(3), 168 - 178.
- Nicoli, M. C., Anese, M., Parpinel, M. T., Franceschi, S., Lerici, C. R. (1997). Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer Letters*, 114(1-2), 71-74.
- Nienaber, U., Shellhammer, T. H. (2001). High-pressure processing of orange juice: kinetics of pectinmethylesterase inactivation. *Journal of Food Science*, 66(2), 328-331.
- Nienaber, U., Shellhammer, T. H. (2001). High-pressure processing of orange juice: combination treatments and a shelf life study. *Journal of Food Science*, 66(2), 332-336.
- Noriega, E., Shama, G., Laca, A., Díaz, M., Kong, M. G. (2011). Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. *Food Microbiology*, 28(7), 1293-1300.
- Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., Witrowa-Rajchert, D. (2012). Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113(3), 427-433.
- Nowak, K., Żmudzińska-Żurek, B. (2009). Pomidory - najlepsze źródło likopenu. *Przemysł Spożywczy*, 6, 26-29.
- Nowicka, P., Wojdyło, A., Oszmianski, J. (2014). Zagrożenia powstające w żywności minimalnie przetworzonej i skuteczne metody ich eliminacji. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 21(2), 5-18.
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Hernández-Jover, T., Martín-Belloso, O. (2009). Carotenoid and phenolic profile of tomato juices processed by high intensity pulsed electric fields compared with conventional thermal treatments. *Food Chemistry*, 112(1), 258-266.
- Odriozola-Serrano, I., Aguiló-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R., Gimeno-Añó, V., Martín-Belloso, O. (2007). Lycopene, vitamin C, and antioxidant capacity of tomato juice as affected by high-intensity pulsed electric fields critical parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(22), 9036-9042.

- Oliveira, M., Vinas, I., Colas, P., Anguera, M., Usall, J., Abadias, M. (2014). Effectiveness of a bacteriophage in reducing *Listeria monocytogenes* on fresh-cut fruits and fruit juices. *Food Microbiology*, 38, 137-142.
- Ostasiewicz, A., Piecyk, M. (2009). Soki pomidorowe - charakterystyka i właściwości przeciwniejące. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 2(53), 28-29.
- Oyane, I., Takeda, T., Oda, Y., Sakata, T., Furuta, M., Okitsu, K., et al. (2009). Comparison between the effects of ultrasound and γ -rays on the inactivation of *Saccharomyces cerevisiae*: Analyses of cell membrane permeability and DNA or RNA synthesis by flow cytometry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16, 532-536.
- Pankaj, S. K., Wan, Z., Colonna, W., Keener, K. M. (2017). Effect of high voltage atmospheric cold plasma on white grape juice quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 4016-4021.
- Pathanibul, P., Taylor, T. M., Davidson, P. M., Harte, F. (2009). Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple and carrot juices using high pressure homogenization and nisin. *International Journal of Food Microbiology*, 129, 316-320.
- Patil, S., Bourke, P., Frias, J. M., Tiwari, B. K., Cullen, P. J. (2009). Inactivation of *Escherichia coli* in orange juice using ozone. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 551-557.
- Pawlat, J. (2013). Atmospheric pressure plasma jet for decontamination purposes. *The European Physical Journal-Applied Physics*, 61(2), 1-11.
- Pawlat, J. (2013a). *Electrical discharges in humid environments. Generators, effects, application*. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin. ISBN 978-83-63569-37-2.
- Pettipher, G. L., Osmundson, M. E., Murphy, J. M. (1997). Methods for the detection and enumeration of *Alicyclobacillus acidoterrestris* and investigation of growth and production of taint in fruit juice and fruit juice-containing drinks. *Letters in Applied Microbiology*, 24(3), 185-189.
- PN-A-75958 (2002). Produkty warzywne i owocowo warzywne. Soki.
- PN-EN ISO 4833-1 (2013-12). Mikrobiologia łańcucha żywnościowego -- Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów -- Część 1: Oznaczanie liczby metodą posiewu wgłębnego w temperaturze 30 stopni C.
- PN ISO 15214 (2002). Mikrobiologia żywności i pasz -- Horyzontalna metoda oznaczania liczby mezofilnych bakterii fermentacji mlekowej -- Metoda płytkowa w temperaturze 30 stopni C.
- PN ISO 21527-1 (2009). Mikrobiologia żywności i pasz -- Horyzontalna metoda oznaczania liczby drożdży i pleśni -- Część 1: Metoda liczenia kolonii w produktach o aktywności wody wyższej niż 0,95.
- PN-EN ISO 6579-1 (2017). Mikrobiologia łańcucha żywnościowego -- Horyzontalna metoda wykrywania, oznaczania liczby i serotypowania *Salmonella* -- Część 1: Wykrywanie *Salmonella* spp.
- Polydera, A. C., Stoforos, N. G., & Taoukis, P. S. (2003). Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurised and high pressure processed reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering*, 60(1), 21-29.
- Przybylska, S., Felisiak, K. (2012). Effect of selected additives on colour changes and lycopene content in pasteurized tomato pulps after storage. *Towaroznawcze Problemy Jakości*, 1, 113-124.
- Qin, B. L., Chang, F. J., Barbosa-Cánovas, G. V., Swanson, B. G. (1995). Nonthermal inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice using pulsed electric fields. *LWT-Food Science and Technology*, 28(6), 564-568.
- QMP_504_EC_19_51_2 (2016). Wykrywanie obecności *Listeria monocytogenes*.
- Ramazina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G., Rocculi, P. (2015). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 55-65.
- Rampersaud, G. C., Valim, M. F. (2017). 100% Citrus juice: nutritional contribution, dietary benefits, and association with anthropometric measures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(1), 129-140.

- Raso, J., Manas, P., Pagan, R., Sala, F. J. (1999). Influence of different factors on the output power transferred into medium by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 5(4), 157-162.
- Regulation of the Polish Minister of Health of 13 January 2003 on the maximum levels of chemical and biological impurities which may be found in food, food ingredients, permitted additives, processing aids or on the surface of foods.
- Ricci, A., Antonini, E., Ninfali, P. (2017). Homemade tomato sauce in the mediterranean diet: a rich source of antioxidants. *Italian Journal of Food Science*, 30(1), 37-49.
- Rød, S. K., Hansen, F., Leipold, F., Knøchel, S. (2012). Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology*, 30(1), 233-238.
- Saulis, G., Wouters, P. C. (2007). *Probable mechanisms of microorganism inactivation by pulsed electric fields*. Lelieveld HLM, Notermans S, de Haan SWH. Food preservation by pulsed electric fields: from research to application. CRC Press, USA, ISBN 978-1-4200-4395-2.
- Saulis, G. (2010). Electroporation of cell membranes: the fundamental effects of pulsed electric fields in food processing. *Food Engineering Reviews*, 2(2), 52-73.
- Świetlikowska, K., Hallmann, E., Bardadyn, I., Rembalkowska, E. (2012). Ocena zawartości związków bioaktywnie czynnych w wybranych sokach warzywnych pochodzących z produkcji ekologicznej i konwencjonalnej. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 57(4), 141-147.
- Sakowski, P., Janiszewska, E. (2013). Zmiany barwy soku marchwiowego w czasie obróbki ultradźwiękami. *Acta Agrophysica*, 20(1), 161-171.
- Samoń, R., Czapiński, J., Grządziel, J., Plonka, M., Pawlat, J., Diateczyk, J. (2014). Ocena działania bakteriobójczego niskotemperaturowej plazmy nierównowagowej generowanej w reaktorze RF. *European Journal of Medical Technologies*, 2, 17-26.
- Sarangapani, C., O'Toole, G., Cullen, P. J., Bourke, P. (2017). Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 235-241.
- Shailja, J., Sankhala, A., Doshora, P. K. (2003). Effect of pasteurization, sterilization and storage conditions on quality of sweet orange (Mosambi) juice. *Journal of Food Science and Technology*, 46(6), 656-659.
- Shi, J., Maguer, M. L. (2000). Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 40(1), 1-42.
- Shi, X. M., Zhang, G. J., Wu X. L., Li, Y. X., Ma, Y., Shao, X. J. (2011). Effect of low-temperature plasma on microorganism inactivation and quality of freshly squeezed orange juice. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 39(7), 1591-1597.
- Siddiq, M., Uebersax, M. A. (Eds.). (2018). Handbook of vegetables and vegetable processing. John Wiley & Sons, USA. ISBN 9781119098928.
- Sies, H., Stahl, W. (1995). Vitamins E and C, beta-carotene and other carotenoids as antioxidants. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62, 1315-1321.
- Skiepmo, N., Chwastowska-Siwiecka, I., Kondratowicz, J. (2015). Właściwości likopenu i jego wykorzystanie do produkcji żywności funkcjonalnej. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 6(103), 20-32.
- Skowron, K., Bauza-Kaszewska, J., Kaczmarek, A., Budzyńska, A., Gospodarek, E. (2015). Mikrobiologiczne aspekty gospodarki gnojowicą. *Postępy Mikrobiologii*, 54(3), 235-249.
- Skryplonek, K. (2016). Zimna plazma, jako niekonwencjonalna metoda utrwalania żywności. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 4, 28-33.
- Skupień, K., Wójcik-Stopczyńska, B. (2005). Ocena jakości przecierów z truskawek odmiany „Elsanta”. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria*, 2(04), 25-35.
- Śliwiński, A. (2001). *Ultradźwięki i ich zastosowania*. Wydawnictwo WNT, Warszawa. ISBN-13 978-83-2042-567-3.

- Sobolewska-Zielińska, J., Twardowska, K., Bączkiewicz, M., Fortuna, T. (2014).** Stabilność witaminy C w syropach z kwiatu mniszka lekarskiego (*Taraxacum officinale*) w okresie przechowywania. *Składniki bioaktywne surowców i produktów roślinnych*. Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności, Kraków. ISBN 978-83-946796-1-3.
- Sokolowska, B., Niezgoda, J. (2007).** Ciepłoodporność szczepów *Alicyclobacillus acidoterrestris* izolowanych z zagęszczonych soków jabłkowych. XXXVIII Sesja Naukowa KNoŻ PAN, pt.: Żywność a jakość życia - uwarunkowania technologiczne, higieniczne, żywieniowe i kulturowe, Olsztyn.
- Sokolowska, B., Chotkiewicz, M., Niezgoda, J., Dekowska, A. (2011).** Ocena zanieczyszczenia mikrobiologicznego świeżych, niepasteryzowanych, wyciskanych soków owocowych i warzywnych dostępnych w handlu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 569, 219-228.
- Sokolowska, B., Skapska, S., Niezgoda, J., Rutkowska, M., Dekowska, A., Rzoska, S. J. (2014).** Inactivation and sublethal injury of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* by high hydrostatic pressure in model suspensions and beetroot juice. *High Pressure Research*, 34(1), 147-155.
- Sokolowska, B. (2014).** *Alicyclobacillus* - termofilne kwasolubne bakterie przetwarzające - charakterystyka i występowanie. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 21(4), 5-17.
- Solecka, M. (2005).** Zastosowanie ozonowania do dezynfekcji ścieków miejskich. W: Zastosowanie ozonu. Polska Akademia Nauk, Łódź, 79-102.
- Song, A. Y., Oh, Y. J., Kim, J. E., Song, K. B., Oh, D. H., Min, S. C. (2015).** Cold plasma treatment for microbial safety and preservation of fresh lettuce. *Food Science and Biotechnology*, 24(5), 1717-1724.
- Stankiewicz, J., Wieczorkiewicz, B. (2017).** Zawartość witaminy C w sokach jednodniowych dostępnych w handlu i uzyskanych w sposób domowy. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 99, 62-70.
- Stahl, W., Sies, H. (2005).** Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1740, 101-107.
- Stasiak, D. M., Dolatowski, Z. J., & Kordowska-Wiater, M. (2007).** Ogólna liczba drobnoustrojów oraz *Salmonelli* na powierzchni skóry tuszek kurcząt brojlerów po sonikacji. *Medycyna Weterynaryjna*, 63(10), 1230-1233.
- STATISTICA** (Data Analysis Software System), v. 10, StatSoft, Inc, Tulsa, OK, USA.
- Stratakos, A. C., Delgado-Pando, G., Linton, M., Patterson, M. F., Koidis, A. (2016).** Industrial scale microwave processing of tomato juice using a novel continuous microwave system. *Food Chemistry*, 190, 622-628.
- Surowsky, B., Fröhling, A., Gottschalk N., Schlüter, O., Knorr, D. (2014).** Impact of cold plasma on *Citrobacter freundii* in apple juice: Inactivation kinetics and mechanisms. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 63-71.
- Suslick, K. S. (1988).** Ultrasound: its physical, chemical and biological effects. Publisher VCH, New York. ISBN-10: 0895733285.
- Szajdek, A., Borowska, J. (2004).** Właściwości przeciwtleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 4(41), 5-28.
- Szczepanska, J., Marszałek, K., Skapska, S. (2017).** Zastosowanie wysokich ciśnień do utrwalania soków NFC. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 61, 11-12.
- Sztangret, J., Korzeniowska, A., Niemirowicz-Szczyt, K. (2001).** Ocena plonowania oraz zawartość suchej masy i związków karotenoidowych w nowych mieszańcach dyni olbrzymiej (*Cucurbita Maxima* Duch). *Folia Horticulturae*, 13(1), 37-43.
- Szwejda, J., Czapski, J., (2007).** Warzywa minimalnie przetworzone a skażenie mikrobiologiczne. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo - Warzywny*, 5, 21-23.
- Tappi, S., Berardinelli, A., Ragni, L., Dalla Rosa, M., Guarneri, A., Rocculi, P. (2014).** Atmospheric gas plasma treatment of fresh-cut apples. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21, 114-122.

- Tan, J., Kerr, W. L. (2015).** Rheological properties and microstructure of tomato puree subject to continuous high pressure homogenization. *Journal of Food Engineering*, 166, 45-54.
- Tchuenchieu, A., Essia Ngang, J. J., Servais, M., Dermience, M., Sado Kamdem, S., Etoa, F. X., Sindic, M. (2018).** Effect of low thermal pasteurization in combination with carvacrol on color, antioxidant capacity, phenolic and vitamin C contents of fruit juices. *Food Science & Nutrition*, 6(4), 736-746.
- Terebun, P., Kwiatkowski, M., Krupski, P., Diatczyk, J., & Pawlat, J. (2014).** Wpływ parametrów pracy reaktora typu plasma-jet z wyładowaniem barierowym na temperaturę gazu poddanego obróbce plazmowej. *European Journal of Medical Technologies*, 3, 38-45.
- Timmermans, R. A. H., Groot, M. N., Nederhoff, A. L., Van Boekel, M. A. J. S., Matser, A. M., Mastwijk, H. C. (2014).** Pulsed electric field processing of different fruit juices: Impact of pH and temperature on inactivation of spoilage and pathogenic micro-organisms. *International Journal of Food Microbiology*, 173, 105-111.
- Tiwari, B. K., O'donnell, C. P., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J. (2009).** Stability of anthocyanins and ascorbic acid in sonicated strawberry juice during storage. *European Food Research and Technology*, 228(5), 717-724.
- Takeoka, G. R., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D. M., Jewell, W. T., Huebner, B., Ebeler, S. E. (2001).** Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3713-3717.
- Torregrosa, F., Esteve, M. J., Frigola, A., Cortés, C. (2006).** Ascorbic acid stability during refrigerated storage of orange-carrot juice treated by high pulsed electric field and comparison with pasteurized juice. *Journal of Food Engineering*, 73(4), 339-345.
- Trzaskowska, M., Kalisz, S., Kolożyn-Krajewska, D. (2014).** Zagrożenia a higiena w produkcji soków. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 11(58), 11-12.
- Ugarte-Romero, E., Feng, H., Martin, S. E., Cadwallader, K. R., Robinson, S. J. (2006).** Inactivation of *Escherichia coli* with power ultrasound in apple cider. *Journal of Food Science*, 71(2), E102-E108.
- Varma, S., Karwe, M. V., Lee, T. C. (2010).** Effect of high hydrostatic pressure processing on lycopene isomers. *International Journal of Food Engineering*, 6(5), (Online) 1556-3758, DOI: <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1752>.
- Vasavada, P. C. (2003).** Microbiology of fruit juice and beverages. Beverage quality and safety. Foster T., Vasada P. C. (Red.). CRC Press, USA. ISBN 9781587160110 - CAT# TX110.
- Velázquez-Estrada, R. M., Hernández-Herrero, M. M., Guamis-López, B., Roig-Sagués, A. X. (2012).** Impact of ultra-high pressure homogenization on pectin methylesterase activity and microbial characteristics of orange juice: A comparative study against conventional heat pasteurization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 13, 100-106.
- Vercammen, A., Vijijs, B., Lurguin, I., Michels, C. W. (2011).** Germination and inactivation of *Bacillus coagulans* and *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores by high hydrostatic pressure treatment in buffer and tomato sauce. *International Journal of Food Microbiology*, 152(3), 162-167.
- Vinha, A. F., Alves, R. C., Barreira, S.V., Castro, A., Costa, A. S., Oliveira, M. B. P. (2014).** Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 197-202.
- Wang, R. X., Nian, W. F., Wu, H. Y., Feng, H. Q., Zhang, K., Zhang, J., Zhu, W. D., Becker, K. H., Fang, J. (2012).** Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physiochemical properties evaluation. *The European Physical Journal*, 66, 276-276.
- Warman, P. R., Havard, K. A. (1997).** Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown carrots and cabbage. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 61, 155-162.
- Wawrzyniak, A., Krotki, M., Stoparczyk, B. (2011).** Właściwości antyoksydacyjne owoców i warzyw. *Medycyna rodzinna*, 1, 19-23.

- Wierzbicka, B., Kuskowska, M. (2002).** Wpływ wybranych czynników na zawartość witaminy C w warzywach. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 1(2), 49-57.
- Wiktor, A., Sledź, M., Nowacka, M., Witrowa-Rajchert, D. (2013).** Możliwości zastosowania niskotemperaturowej plazmy w technologii żywności. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 5(90), 5-14.
- Williams, R. C., Sumner, S. S., Golden, D. A. (2005).** Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* in apple cider and orange juice treated with combinations of ozone, dimethyl dicarbonate, and hydrogen peroxide. *Journal of Food Science*, 70(4), M197-M201.
- Xu, L., Garner, A. L., Tao, B., Keener, K. M. (2017).** Microbial inactivation and quality changes in orange juice treated by high voltage atmospheric cold plasma. *Food and Bioprocess Technology*, 10(10), 1778-1791.
- Yen, G. C., Lin, H. T. (1996).** Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurization effects on the quality and shelf life of guava puree. *International Journal of Food Science & Technology*, 31(2), 205-213.
- Yeom, H. W., Streaker, C. B., Zhang, Q. H., Min, D. B. (2000).** Effects of pulsed electric fields on the activities of microorganisms and pectin methyl esterase in orange juice. *Journal of Food Science*, 65(8), 1359-1363.
- Yu, H., Perni, S., Shi, J. J., Wang, D. Z., Kong, M. G., Shama, G. (2006).** Effects of cell surface loading and phase of growth in cold atmospheric gas plasma inactivation of *Escherichia coli* K12. *Journal of Applied Microbiology*, 101, 1323-1330.
- Zafra-Rojas, Q. Y., Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Delgado-Olivares, L., Villanueva-Sánchez, J., Alanís-García, E. (2013).** Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1283-1288.
- Żywica, R., Smoczyński, S. S., Banach, J. K., Modzelewska-Kapituła, M. (2017).** Techniques and Technologies Ensuring Food Safety. *Towaroznawcze Problemy Jakości*, 4, 33-41.
- Ziuzina, D., Patil, S., Cullen, P. J., Keener, K. M., Bourke, P. (2013).** Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli* in liquid media inside a sealed package. *Journal of Applied Microbiology*, 114(3), 778-787.

SPIS RYSUNKÓW I TABEL

Rysunki

- Rys. 1. Układ doświadczalny do obróbki soku ultradźwiękami 1 - przetwornik ultradźwiękowy; 2 - generator ultradźwiękowy; 3 - rejestrator danych; 4 - termosonda; 5 – sonda ultradźwiękowa; h - głębokość zanurzenia sondy ultradźwiękowej w próbce soku pomidorowego
- Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego z reaktorem plazmowym GAD: 1 - GAD; 2 - próbka; 3 - zasilanie gazem; 4 - zasilanie; 5 - przepływomierz; 6 - mieszadło magnetyczne
- Rys. 3. Fotografia elektrod oraz wyładowania elektrycznego
- Rys. 4. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 5. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 6. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 7. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 8. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 9. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 10. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 70°C na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 11. Wpływ czasu pasteryzacji przeprowadzonej w 90°C na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 12. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na ogólną liczbę drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 13. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na ogólną liczbę drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 14. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 15. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 16. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 17. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 18. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $28 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 19. Wpływ czasu sonikacji przy natężeniu wynoszącym $40 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 20. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 21. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 22. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo

- Rys. 23. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość bakterii kwaszących typu mlekowego w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 24. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość bakterii z grupy coli w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 25. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość ogólnej liczby drobnoustrojów w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 26. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu powietrza na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 27. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej wytworzonej przy użyciu azotu na zawartość drożdży w soku pomidorowym przechowywanym chłodniczo
- Rys. 28. Mikrostruktura świeżego soku pomidorowego a) w powiększeniu 100 x i b) w powiększeniu 500 x
- Rys. 29. Mikrostruktura soku pomidorowego pasteryzowanego w 70 i 90°C przez: a) 300 s, b) 600 s i c) 900 s
- Rys. 30. Mikrostruktura soku pomidorowego sonikowanego przy natężeniu ultradźwięków wynoszącym 28 i 40 W·cm⁻² przez: a) 120 s, b) 300 s i c) 600 s
- Rys. 31. Mikrostruktura soku pomidorowego poddanego działaniu zimnej plazmy atmosferycznej z użyciem azotu przez: a) 30 s, b) 60 s, c) 120 s, d) 300 s i e) 600 s
- Rys. 32. Mikrostruktura soku pomidorowego poddanego działaniu zimnej plazmy atmosferycznej z użyciem azotu przez: a) 30 s, b) 60 s, c) 120 s, d) 300 s i e) 600 s

Tabele

Tabela 1. Parametry procesu sonikacji

Tabela 2. Pomiar temperatury próbki po obróbce zimną plazmą dla gazu procesowego: azotu

Tabela 3. Pomiar temperatury próbki po obróbce zimną plazmą dla gazu procesowego: powietrza

Tabela 4. Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrabianego cieplnie (kontrola) oraz pasteryzowanego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

Tabela 5. Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrabianego cieplnie (kontrola) oraz sonikowanego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

Tabela 6. Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrobionego cieplnie (kontrola) oraz traktowanego zimną plazmą atmosferyczną, z użyciem powietrza jako gazu procesowego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

Tabela 7. Ocena przydatności do spożycia soku pomidorowego nieobrobionego cieplnie (kontrola) oraz traktowanego zimną plazmą atmosferyczną, z użyciem powietrza jako gazu procesowego, po 1, 4, 7 i 10 dniach przechowywania w temp. +4°C, na podstawie dostępnych regulacji prawnych dla soków pasteryzowanych; pogrubiona czcionka oznacza przekroczenie dopuszczalnej zawartości

Tabela 8. Wpływ parametrów pasteryzacji na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Tabela 9. Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

- Tabela 10. Wpływ parametrów pasteryzacji na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego
- Tabela 11. Wyniki dotyczące kwasowości: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 12. Wpływ parametrów pasteryzacji na zawartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 13. Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 14. Wpływ parametrów pasteryzacji na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 15. Wyniki dotyczące karotenoidów: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 16. Wpływ parametrów pasteryzacji na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 17. Wyniki dotyczące likopenu: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 18. Wpływ parametrów pasteryzacji na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 19. Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 20. Wpływ parametrów sonikacji na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego
- Tabela 21. Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 22. Wpływ parametrów sonikacji na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego
- Tabela 23. Wyniki dotyczące kwasowości: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 24. Wpływ parametrów sonikacji na zawartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 25. Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 26. Wpływ parametrów sonikacji na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 27. Wyniki dotyczące karotenoidów: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 28. Wpływ parametrów sonikacji na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 29. Wyniki dotyczące likopenu: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 30. Wpływ parametrów sonikacji na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym
- Tabela 31. Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania
- Tabela 32. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Tabela 33. Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 34. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na wartość suchej substancji przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Tabela 35. Wyniki dotyczące suchej substancji: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 36. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Tabela 37. Wyniki dotyczące kwasowości: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 38. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na wartość kwasowości przechowywanego przez 10 dni soku pomidorowego

Tabela 39. Wyniki dotyczące kwasowości: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 40. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na zawartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 41. Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 42. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na zawartość substancji rozpuszczalnych w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 43. Wyniki dotyczące zawartości substancji rozpuszczalnych: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 44. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 45. Wyniki dotyczące karotenoidów: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 46. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na ogólną zawartość karotenoidów w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 47. Wyniki dotyczące karotenoidów: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 48. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 49. Wyniki dotyczące likopenu: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 50. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na zawartość likopenu w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 51. Wyniki dotyczące likopenu: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 52. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem azotu na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 53. Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

Tabela 54. Wpływ czasu działania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze generowanej z użyciem powietrza na zawartość kwasu askorbinowego w przechowywanym przez 10 dni soku pomidorowym

Tabela 55. Wyniki dotyczące kwasu askorbinowego: p-wartości szczegółowych testów Kruskala-Wallisa do porównania kontroli z pozostałymi poziomami czynników w określonym dniu przechowywania

STRESZCZENIE

Innowacje mają znaczący wpływ na rozwój przemysłu spożywczego. Plazma nietermiczna, popularnie zwana zimną plazmą, to nowa, przełomowa koncepcja, która może mieć szerokie zastosowanie w utrwalaniu żywności, w tym soków owocowych i warzywnych.

W polskich jak i zagranicznych doniesieniach naukowych brakuje wyników kompleksowych badań dotyczących skuteczności zimnej plazmy atmosferycznej w eliminacji mikroflory występującej w niepasteryzowanych sokach owocowo-warzywnych. Jak dotąd przeprowadzono tylko nieliczne próby inaktywacji drobnoustrojów w dostępnych w sprzedaży sokach owocowo-warzywnych.

Brak jest natomiast badań nad zakresem oddziaływania tej techniki na właściwości fizykochemiczne, a także mikrostrukturę świeżo otrzymanych wyrobów owocowo-warzywnych.

Stąd też, w zaprezentowanych badaniach skupiono się na problemie wykorzystania plazmy nierównowagowej o niskiej temperaturze do inaktywacji patogennych mikroorganizmów w świeżo tłoczonym soku pomidorowym przy jednoczesnym zachowaniu jego mikrostruktury oraz właściwości fizykochemicznych.

Otrzymane wyniki badań dotyczące wykorzystania zimnej plazmy atmosferycznej generowanej w urządzeniu Glide-arc przez czas 300-600 s, wskazują iż ta innowacyjna technika obróbki umożliwia przedłużenie okresu przydatności do spożycia niepasteryzowanego soku pomidorowego do 10 dni (biorąc pod uwagę całkowitą liczbę drobnoustrojów tlenowych oraz liczbę drożdży dopuszczalną dla soków pasteryzowanych wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r.), przy redukcji ogólnej liczby drobnoustrojów, bakterii typu mlekowego, bakterii z grupy coli oraz drożdży do poziomu $<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($<1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), tzn. poniżej granicy oznaczalności. Dodatkowo zimna plazma atmosferyczna nie ma istotnego wpływu na mikrostrukturę (w soku pomidorowym poddanym działaniu zimnej plazmy atmosferycznej zaobserwowano niezniszczone komórki z nienaruszonymi chromoplastami) i właściwości fizykochemiczne produktu (nie wykazano statystycznie istotnych zmian w zawartościach suchej substancji, substancji rozpuszczalnych, karotenoidów, likopenu, witaminy C oraz wartości pH) w porównaniu z próbą kontrolną.

Słowa kluczowe: innowacyjne techniki obróbki, zimna plazma atmosferyczna, sok warzywny, właściwości fizykochemiczne

INNOVATION AND EFFICIENCY OF VEGETABLE JUICE PROCESSING TECHNIQUES

Innovations exert a significant impact on the development of the food industry. Nonthermal plasma, commonly known as cold plasma, is a new breakthrough concept that can be widely used in preservation of food products, including fruit and vegetable juices.

In Polish and foreign scientific literature, there are no reports of comprehensive research on the effectiveness of cold atmospheric plasma in elimination of microflora present in unpasteurised fruit and vegetable juices. So far, there have been only few attempts to inactivate microorganisms in commercially available fruit and vegetable juices.

However, there are no studies on the impact of this technique on the physicochemical properties and microstructure of fresh fruit and vegetable products.

Hence, the present investigations focused on the use of low-temperature non-equilibrium plasma for inactivation of pathogenic microorganisms in freshly pressed tomato juice with simultaneous preservation of its microstructure and physicochemical properties.

The results of the investigations of the application of cold atmospheric plasma generated in the GlidArc reactor for 300-600 s indicate that this innovative treatment technique extends the shelf life of unpasteurised tomato juice up to 10 days (taking into account the total number of aerobic microorganisms and the number of yeasts admissible for pasteurised juices, as specified by the Regulation of the Minister of Health of January 13, 2003) and reduces the total number of microorganisms, lactic bacteria, coliforms, and yeasts to the level of $<10 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ ($<1 \log_{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$), i.e. below the limit of quantification. Additionally, cold atmospheric plasma has no significant impact on the microstructure (tomato juice exposed to cold atmospheric plasma contained undamaged cells with intact chromoplasts) and physicochemical properties of the product (no statistically significant differences in the values of dry matter, pH, soluble compounds, carotenoids, lycopene, vitamin C), compared with the control sample.

Key words: innovative processing techniques, cold atmospheric plasma, vegetable juice, physicochemical properties