



RAPORT MERYTORYCZNY

z realizacji operacji p.n. „Opracowanie innowacyjnego produktu, w postaci Chipsów Owocowych Premium, wytworzonych z jabłek, na bazie uruchomienia linii suszarniczej w celu produkcji nowego produktu o cechach innowacyjnych – chipsów owocowych o podniesionych walorach prozdrowotnych, przy wykorzystaniu soku NFC oraz roztworu osmotycznego, sprzedaż i nowoczesne metody marketingu”

Numer umowy: 00051.DDD.6509.00100.2019.01

operacja współfinansowana jest ze środków Unii Europejskiej

w ramach działania „WSPÓŁPRACA”

Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014 – 2020

Kierownik projektu UPWr
prof. dr hab. inż. Krzysztof Lech
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
krzysztof.lech@upwr.edu.pl



Spis treści

Spis treści.....	2
Streszczenie	4
Abstract	4
1. Cel operacji	5
2. Zadania badawcze	6
3. Zespół badawczy	7
4. Metodyka badań	9
4.1. Materiał badawczy	9
4.2. Przygotowanie surowca i roztworu osmotycznego	9
4.3. Technologia produkcji <i>Chipsów Premium</i>	10
4.4. Kinetyka odwadniania osmotycznego i suszenia	12
4.5. Analiza właściwości fizycznych surowców i produktów	13
4.6. Analiza właściwości chemicznych surowców i produktów	20
4.7. Analiza mikrobiologiczna roztworów i produktów	23
4.8. Analiza statystyczna wyników	24
5. Wyniki badań.....	26
5.1. Wyznaczenie składu roztworu osmotycznego.....	26
5.1.1. Przygotowanie roztworów bazowych do badań.....	26
5.1.2. Wpływ rozpuszczalnika na WL i SG	26
5.1.3. Wpływ rozpuszczalnika na właściwości chemiczne jabłek	29
5.1.4. Wpływ rozpuszczalnika na właściwości chemiczne roztworów.....	37
5.1.5. Analiza mikrobiologiczna jabłek i roztworów osmotycznych	46
5.2. Wielokrotne wykorzystanie roztworu osmotycznego	46
5.2.1. Stężenie roztworu osmotycznego po kolejnym odwadnianiu	46
5.2.2. Wpływ kolejnego odwadniania na WL i SG	47
5.1.2. Wpływ kolejnego odwadniania na właściwości chemiczne jabłek.....	50



5.2.4.	Wpływ kolejnego odwadniania na właściwości chemiczne roztworów	55
5.2.5.	Analiza mikrobiologiczna jabłek i roztworów po kolejnym odwadnianiu	61
5.3.	Premium Chips – frytki	62
5.3.1.	Owadnianie osmotyczne – Premium Chips frytki.....	64
5.3.2.	Kinetyka suszenia – Premium Chips frytki.....	67
5.3.3.	Model matematyczny – Premium Chips frytki	70
5.3.4.	Właściwości chemiczne – Premium Chips frytki	71
5.3.5.	Analiza mikrobiologiczna – Premium Chips frytki	73
5.3.6.	Właściwości fizyczne chipsów – Premium Chips frytki.....	74
5.3.7.	Właściwości fizyczne roztworów – Premium Chips frytki.....	88
5.4.	Premium Chips – półksiężyc	91
5.4.1.	Owadnianie osmotyczne – Premium Chips półksiężyc.....	92
5.4.2.	Kinetyka suszenia – Premium Chips półksiężyc.....	93
5.4.3.	Właściwości fizyczne – Premium Chips półksiężyc	95
5.4.4.	Właściwości chemiczne – Premium Chips półksiężyc	97
5.4.5.	Właściwości mikrobiologiczne – Premium Chips półksiężyc	98
5.5.	Premium Chips – plastry	98
5.5.1.	Owadnianie osmotyczne – Premium Chips plastry.....	99
5.5.2.	Kinetyka suszenia – Premium Chips plastry	100
5.5.3.	Właściwości chemiczne – Premium Chips plastry	102
5.5.4.	Właściwości mikrobiologiczne – Premium Chips plastry	103
6.	Podsumowanie	104
	Spis rysunków.....	105
	Spis tabel	108



Streszczenie

Celem operacji było opracowanie innowacyjnego produktu, w postaci Chipsów Owocowych Premium, wytworzonych z jabłek, na bazie uruchomienia linii suszarniczej w celu produkcji nowego produktu o cechach innowacyjnych - chipsów owocowych o podniesionych walorach prozdrowotnych, przy wykorzystaniu procesu odwadniania osmotycznego w zagęszczonych sokach owocowych rozwadnianych sokiem NFC oraz suszenia łączonego, konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego. Przeprowadzone badania przemysłowe w warunkach laboratoryjnych w skali półtechnicznej pozwoliły na opracowanie optymalnego składu roztworu osmotycznego uwzględniającego szybkość transferu masy podczas procesu odwadniania osmotycznego oraz suszenia, co wykorzystano podczas wdrażania technologii na linii produkcyjnej. Opracowano szczegółowe parametry procesu suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego uwzględniając kinetykę oraz energochłonność procesów. Określono wpływ parametrów odwadniania oraz suszenia na właściwości fizyko-chemiczne uzyskanych Chipsów Premium. Ponadto przeprowadzono analizę mikrobiologiczną otrzymanych chipsów oraz roztworów.

Abstract

The aim of the operation was to develop an innovative product in the form of Premium Fruit Chips made from apples, based on the launch of a drying line to produce a new product with innovative features - fruit chips with increased health-promoting values, using the osmotic dehydration process in concentrated fruit juices diluted with NFC juice and combined, convection and microwave-vacuum drying. Industrial research conducted in laboratory conditions on a semi-technical scale allowed the development of the optimal composition of the osmotic solution taking into account the mass transfer rate during the osmotic dehydration and drying process, which was used during the implementation of the technology on the production line. Detailed parameters of the convective and microwave-vacuum drying process were developed, taking into account the kinetics and energy consumption of the processes. The effect of dehydration and drying parameters on the physicochemical properties of the obtained Premium Chips was determined. In addition, a microbiological analysis of the obtained chips and solutions was carried out.



1. Cel operacji

Opracowanie innowacyjnego produktu, w postaci Chipsów Owocowych Premium, wytworzonych z jabłek, na bazie uruchomienia linii suszarniczej w celu produkcji nowego produktu o cechach innowacyjnych - chipsów owocowych o podniesionych walorach prozdrowotnych, przy wykorzystaniu soku NFC oraz roztworu osmotycznego, sprzedaż i nowoczesne metody marketingu.

Przedmiotem operacji jest opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania suszu owocowego wzbogaconego prozdrowotnymi składnikami z soków owocowych, w szczególności naturalnych chipsów owocowych o znacząco podniesionych walorach prozdrowotnych i sensorycznych (wygląd, zapach, smak, tekstura). Cel operacji zostanie osiągnięty poprzez realizację zarówno badań przemysłowych, jak i prac rozwojowych, w efekcie których zostanie uruchomiona linia suszarnicza obejmująca zaawansowany kilkietapowy proces wytwórczy prowadzący do uzyskania bioaktywnego suszu owocowego w postaci chipsów o właściwościach prozdrowotnych, atrakcyjnej teksturze i zmodyfikowanym smaku. Linia suszarnicza zostanie uruchomiona na terenie hali produkcyjnej będącej w posiadaniu Vigrana sp. z o. o.

Realizacja operacji będzie możliwa po osiągnięciu kamieni milowych:

- 1) Opracowanie składu innowacyjnego roztworu osmotycznego na bazie koncentratu owocowego i soku ze świeżych owoców o wysokiej jakości.
- 2) Skompletowanie, zintegrowanie i modyfikacja kluczowych urządzeń demonstracyjnej linii suszarniczej w celu uzyskania wysokiej jakości materiału na każdym etapie procesu technologicznego.
- 3) Stworzenie suszarniczej linii demonstracyjnej oraz przeprowadzenie trzech powtarzalnych cykli produkcyjnych przy zachowaniu stabilności produktu i procesu.
- 4) Opracowanie optymalnych parametrów technologicznych suszarniczej linii demonstracyjnej uwzględniając jakość produktu i energochłonność procesu.

Operacja ma na celu opracowanie innowacji procesowej niestosowanej dotychczas w Polsce.



2. Zadania badawcze

V A 1. Opracowanie założeń i proces wdrażania prototypowego urządzenia do odwadniania osmotycznego - wynagrodzenia naukowców (Zespół Inżynierii Rolniczej).

V A 2. Opracowanie składu roztworu osmotycznego na bazie soku NFC i zagęszczonego soku owocowego.

V A 3. Badanie jakości surowca owocowego (Zespół Sadowniczy).

V A 5. Przygotowanie założeń technologicznych, skompletowanie i przygotowanie do pracy urządzeń wchodzących w skład innowacyjnej linii suszarniczej.

V A 6. Badanie procesu odwadniania osmotycznego w warunkach laboratoryjnych - wynagrodzenia pracowników naukowych.

V A 7. Analiza właściwości fizycznych i chemicznych produktów procesu odwadniania.

V A 8. Badania mikrobiologiczne surowców oraz produktów.



3. Zespół badawczy

Badania właściwości surowców i produktów oraz badania technologiczne w skali półtechnicznej realizowano w czterech jednostkach Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Technologia produkcji chipsów z owoców albo warzyw, która pozwala uzyskać produkt o zwiększonym potencjale bioaktywnym oraz atrakcyjnej teksturze, smaku i wyglądu jest chroniona patentem PL 219810 opracowanym przez pracowników UPWr. Realizacja projektu miała na celu ulepszenie tej technologii i umożliwienie jej wdrożenia. Badania przemysłowe dotyczące odwadniania osmotycznego oraz suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego, a także analizę właściwości fizycznych surowców i produktów przeprowadzono w Instytucie Inżynierii Rolniczej. Analizę właściwości surowców przeprowadzono w Katedrze Ogrodnictwa. W Katedrze Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych przeprowadzono analizy właściwości chemicznych surowców oraz otrzymanych produktów. Badania bezpieczeństwa mikrobiologicznego uzyskanych produktów przeprowadzono w laboratoriach Katedry Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności. Obsługę administracyjno-finansową projektu dotyczącą prawidłowości wydatkowania środków publicznych w odniesieniu do zapisów umów o dofinansowanie oraz monitoring harmonogramów rzeczowo-finansowych realizowano w Centrum Realizacji i Rozliczania Projektów.

Skład zespołu:

Instytut Inżynierii Rolniczej:

- prof. dr hab. inż. Krzysztof Lech – kierownik projektu UPWr
- prof. dr hab. inż. Adam Figiel
- dr inż. Klaudia Masztalerz
- dr inż. Małgorzata Serowik
- dr inż. Marta Paślawska
- dr inż. Mariusz Surma
- dr inż. Klaudiusz Jałoszyński
- spec. Mariusz Nejman
- star. tech. Jerzy Winiarski



Katedra Ogrodnictwa:

- dr inż. Marta Czaplicka
- dr inż. Ewelina Gudarowska
- prof. dr hab. inż. Adam Szewczuk

Katedra Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych:

- prof. dr hab. inż. Aneta Wojdyło
- dr inż. Karolina Tkacz
- dr Nesa Dibagar
- spec. Aleksandra Błochowiak
- spec. Maria Barna

Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności:

- dr inż. Piotr Juszczak
- dr inż. Magdalena Rakicka-Pustułka
- spec. Anna Niemiec

Centrum Realizacji i Rozliczania Projektów:

- spec. mgr Katarzyna Maciejczyk-Jaśkiewicz

4. Metodyka badań

4.1. Materiał badawczy

Zagęszczone soki jabłkowe były pozyskiwane z dwóch źródeł: 1) sok z firmy RAUCH POLSKA SP. Z O.O (Płońsk, Polska) o stężeniu 55°Brix, 2) Sok jabłkowy 100% zagęszczony PURENA o stężeniu 65°Brix (Złoty Potok, Polska).

Zagęszczony sok z aronii o stężeniu 75 °Brix pozyskiwano od firmy Yagoody (Dębie, Łuków, Polska).

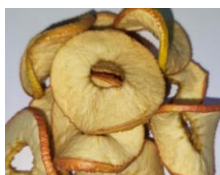
Sok Jabłkowy 100 % NFC Dolina Czerska – słodko-kwaśny Ligol o stężeniu 11°Brix pozyskano od firmy MBF SPÓŁKA AKCYJNA (Góra Kalwaria, Polska).

Jabłka odmiany *Szampion* pozyskano na rynku lokalnym we Wrocławiu.

4.2. Przygotowanie surowca i roztworu osmotycznego

Jabłka o średniej wielkości były myte i osuszane, następnie wykrajano z nich gniazdo nasienne i wycinano trzy kształty (Rys. 1) przy użyciu krajalnicy ROYAL CATERING RCKS-4:

- 1) Plastry – plastry jabłek z wyciętym gniazdem nasiennym o grubości 3,5 mm, 6 mm, 8 mm i 10 mm.
- 2) Frytki – jabłka w kształcie frytek o przekroju kwadratowym 10x10 mm.
- 3) Półksiężyce – 1/16 części jabłka.



Plastry



Frytki



Półksiężyce

Rysunek 1. Przykładowe kształty krajanki z jabłek

Roztwory osmotyczne były przygotowywane z zagęszczonych soków jabłkowych i aroniowych oraz soku NFC. Zagęszczony sok jabłkowy był rozcieńczany do stężenia 40°Brix przy użyciu wody (J-W) lub soku NFC (J-NFC). Zagęszczony sok aroniowy był rozcieńczany tylko przy użyciu wody (A). Następnie przygotowywano roztwory osmotyczne na bazie rozcieńczonych soków jabłkowych i aroniowego o stężeniu 40°Brix w różnych udziałach soku z aronii od 10 do 80 % (A10%-A80%). Stężenie roztworu było mierzone przy użyciu refraktometru optycznego PAL-3 (ATAGO, Japonia).

Dodatkowo przeprowadzono badania dotyczące wpływu stosunku surowca do roztworu w różnych proporcjach (od 1:3 do 1:10), a także przeprowadzono badania wielokrotnego wykorzystania roztworu osmotycznego w procesie odwadniania osmotycznego.

4.3. Technologia produkcji *Chipsów Premium*

Wdrażana technologia Chipsów Premium w ramach operacji jest oparta na patencie pn. „Sposób otrzymywania chipsów z owoców albo warzyw” PL219810 należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Technologia produkcji Chipsów Premium składa się z trzech etapów:

1. Etap 1. Odwadnianie osmotyczne jabłek w zagęszczonych sokach owocowych (jabłkowym i aroniowym).
2. Etap 2. Suszenie konwekcyjne – ogrzanym powietrzem, jabłek odwadnianych osmotycznie.
3. Etap 3. Suszenie mikrofalowo-próżniowe – wstępnie suszonych konwekcyjnie jabłek.

Etap 1. Odwadnianie osmotyczne przeprowadzono w zlewkach 3 litrowych w których jabłka były zanurzone w zagęszczonym soku (roztworze osmotycznym), a zlewki były umieszczone w łaźniach wodnych w celu utrzymania stałej temperatury roztworu osmotycznego w zakresie od 40 do 50°C. Czas odwadniania w zależności od kształtu jabłek oraz parametrów procesu utrzymywano w zakresie od 45 do 90 minut. Po procesie odwadniania jabłka osuszano wstępnie na sitach a następnie na ręcznikach papierowych (warunki laboratoryjne – skala półtechniczna) (Rys. 2).



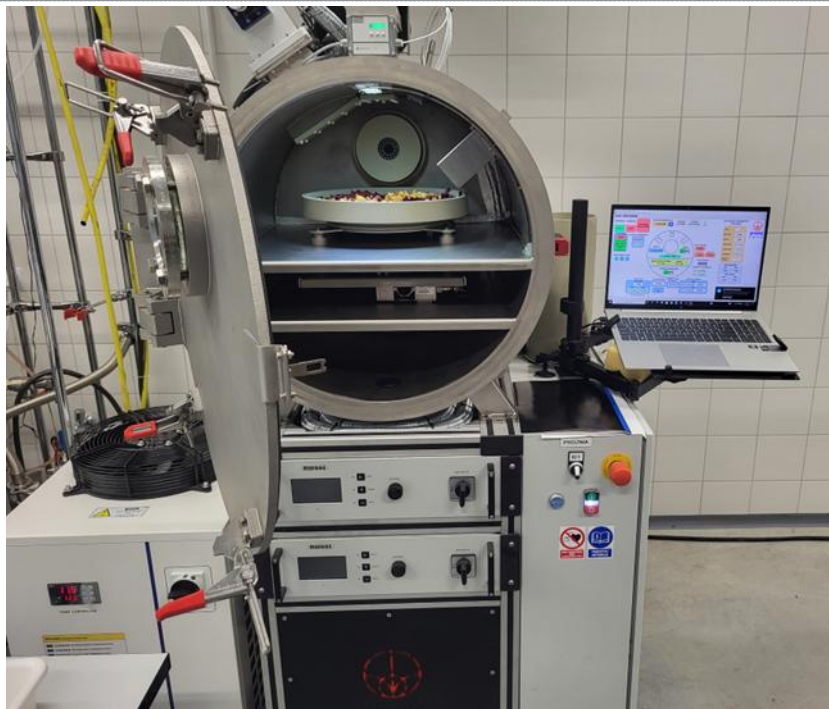
Rysunek 2. Przykład odwadniania osmotycznego w zagęszczonym soku aroniowym oraz osuszania jabłek odwadnianych osmotycznie.

Etap 2. Suszenie konwekcyjne po procesie odwadniania osmotycznego przeprowadzano w suszarce konwekcyjnej w skali półtechnicznej YLD -88 (Chiny) (Rys. 3). Zakres temperatury suszenia wynosił od 50 do 70°C, prędkość przepływu powietrza w zakresie od 0.8 do 1,2 m/s. Czas suszenia konwekcyjnego w zależności od rodzaju wykorzystanego roztworu osmotycznego oraz kształtu jabłek ustalano w zakresie od 60 do 120 minut. Surowiec był umieszczany na sitach w pojedynczej warstwie i obracany co 30 minut w celu równomiernego suszenia, dodatkowo co 15 minut zmieniano pozycję tac przesuwając górną tacę o jedną w dół i kolejne tak samo, a ostatnią przenoszono na samą górę, związane to było z budową wyżej wymienionej suszarni, która wymagała tego typu operacji w trakcie suszenia.



Rysunek 3. Suszarka konwekcyjna YLD – 88.

Etap 3. Suszenie mikrofalowo-próżniowe jabłek podsuszanych konwekcyjnie przeprowadzono w suszarce mikrofalowo-próżniowej firmy Plazmatronika (Wrocław, Polska) (Rys. 4). Zakres mocy mikrofal używany podczas badań wynosił od 400 do 1000 W, ciśnienie panujące w komorze suszarniczej wynosiło od 2 do 8 kPa. Prędkość obrotów talerza wynosił 2 obr/min. Próbkę suszono do uzyskania wilgotności końcowej suszu poniżej 3 %. W trakcie procesu suszenia monitorowano temperaturę nagrzania próbki przy użyciu pirometru (Optris CT) oraz kamery termowizyjnej Testo 871s (Lenzkirch, Niemcy). Maksymalna temperatura nagrzania próbek wynosiła 80°C, gdy temperatura zbliżała się do maksymalnej redukowano moc mikrofal.



Rysunek 4. Suszarka mikrofalowo-próżniowa Plazmatronika VMD.

W ramach realizacji operacji przeprowadzono przeskalowanie tej technologii ze skali laboratoryjnej do skali półtechnicznej w warunkach laboratoryjnych.

4.4. Kinetyka odwadniania osmotycznego i suszenia

Określenie kinetyki odwadniania osmotycznego jabłek wymagało obliczenia następujących wartości: redukcji masy (WR), przyrostu substancji stałej (SG) i utraty wody (WL) wyrażonych w g/100 g świeżych owoców, przy użyciu następujących równań:

$$WR = \frac{w_i - w}{w_i} \quad (1)$$

$$SG = \frac{s - s_i}{w_i} \quad (2)$$

$$WL = WR + SG \quad (3)$$

gdzie w , w_i to wartości bieżące i początkowe dla masy próbki (g), a s , s_i to wartości bieżące i początkowe dla zawartości substancji stałej w próbce (g),

Obliczenie przyrostu substancji stałej (SG) i utraty wody (WL) umożliwiło określenie stosunku WL/SG, który jest często stosowany do scharakteryzowania procesu wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego.

Kinetykę suszenia metodą konwekcyjną (CD) i mikrofalowo-próżniową (VMD) oznaczono na podstawie ubytków masy jabłek podczas suszenia. Kinetykę suszenia konwekcyjnego i mikrofalowego przedstawiono jako zredukowaną zawartość wody (MR) w funkcji czasu (t). Zredukowaną zawartość wody obliczono przy użyciu następującego równania:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4)$$

gdzie, M to chwilowa zawartość wody w materiale ($\text{kg}_{\text{wody}}/\text{kg}_{\text{sm}}$), M_e to równowagowa zawartość wody w materiale ($\text{kg}_{\text{wody}}/\text{kg}_{\text{sm}}$) i M_0 to początkowa zawartość wody w materiale ($\text{kg}_{\text{wody}}/\text{kg}_{\text{sm}}$). Ponieważ wartości M_e są bardzo małe w porównaniu do wartości M dlatego zredukowaną zawartość wody (MR) wyrażono uproszczonym równaniem:

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (5)$$

4.5. Analiza właściwości fizycznych surowców i produktów

Wilgotność surowców i produktów

Określenie wilgotności próbek przeprowadzano przy użyciu suszarki próżniowej SPT-200 (ZEAMiL Horyzont, Kraków) (Rys. 5). Próbki suszono w temperaturze 70°C przy ciśnieniu 40 ± 5 Pa przez 24 godz. Masę próbek wyznaczano przy użyciu wagi analitycznej XA 60/220/X (Radwag, Radom) z dokładnością 0,0001 g.



Rysunek 5. Suszarka próżniowa SPT-200.

Lepkość dynamiczna roztworów

Lepkość roztworów wyznaczono przy użyciu viskozymetru vibracyjnego SV-10 (Rys. 6) firmy A&D (Tokio, Japonia) w temperaturze odpowiedniej dla roztworu osmotycznego wykorzystanego w procesie odwadniania osmotycznego. Wyniki wyrażono w mPa·s.

pH roztworów

pH roztworów wyznaczono przy użyciu pH metru firmy Mettler Toledo Five Easy Plus (Ohio, USA).

Stężenie roztworów

Pomiar stężenia roztworów hipertonicznych w postaci zagęszczonych soków wykonano przy użyciu refraktometru PAL-3 (Atago, Japonia) o zakresie pomiarowym 0-93 °Bx i dokładności $\pm 0,1$ °Bx.



Rysunek 6. Wiskozymetr; pH metr i refraktometr (kolejno od lewej).

Gęstość roztworów

Gęstość roztworów obliczano jako stosunek masy roztworu (m) do jego objętości (V). Objętość roztworu mierzono przy użyciu cylindra pomiarowego szklanego 50 ml boro 3.3 kl. A ± 1 ml. Masę roztworu mierzono wagą precyzyjną Radwag WTC 600 (Wrocław, Polska). Wynik wyrażono w g/cm³.

Aktywność wody produktów

Aktywność wody (aw) mierzono (n=3) dla roztworów osmotycznych, świeżych materiałów i produktów po suszeniu przy użyciu miernika aktywności wody AquaLab DewPoint 4Te (Decagon Devices Inc., Stany Zjednoczone) (Rys. 7) w temperaturze $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Parametry barwy surowców i produktów

Kolor próbek mierzono w pięciu powtórzeniach przy użyciu miernika chrominancji Minolta CR-400 (Minolta Co., Ltd., Osaka, Japonia) (Rys. 7). Pomiar wykonano na powierzchni chipsów oraz surowców, roztwory mierzono w specjalnej zlewce. Wyniki uzyskano w odniesieniu do przestrzeni barw $L^*a^*b^*$ Międzynarodowej Komisji Oświeceniowej (CIE). W tej przestrzeni barw L^* oznacza jasność, przy czym wartości a^* wahają się od ujemnych (zielony) do dodatnich (czerwony), a wartości b^* wahają się od ujemnych (niebieski) do dodatnich (żółty). Całkowitą zmianę koloru wysuszonego materiału wyrażono jako ΔE z następującego równania:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (6)$$

gdzie, L , a , b to parametry barwy próbki, a L_0 , a_0 , i b_0 to parametry barwy wzorca.



Rysunek 7. Kolorymetr i miernik aktywności wody (kolejno od lewej).

Gęstość właściwa, gęstość pozorna i gęstość piknometryczna produktów

Gęstość właściwą suszu wyznaczono przy użyciu piknomietru gazowego HumiPyc II (InstruQuest Inc., USA) (Rys. 8), który służył do pomiaru objętości próbek. Otrzymany susz został zmielony, tak, aby zniszczyć przestwory wewnątrz próbki. Pomiar dokonano stosując argon przy ciśnieniu roboczym 220 kPa. Następnie zmieloną próbkę przy użyciu młynka laboratoryjnego (Rys. 8), próbkę zważono przy użyciu wagi XA 60/220/X (Radwag, Radom) z dokładnością $\pm 0,0001$ g. Gęstość właściwą próbki (ρ_t) obliczono jako stosunek masy do objętości zmielonej próbki przy użyciu równania:

$$\rho_t = \frac{m_s}{V_z} \quad (7)$$

gdzie, m_s – masa zmielonej próbki, V_z – objętość zmielonej próbki.

Gęstość piknometryczną (ρ_p) uzyskano poprzez zważenie próbki i zmierzenie objętości całych cząstek suszu przy użyciu tego samego piknometru gazowego (Rys. 8). Pomiary przeprowadzono przy użyciu gazu argonowego pod ciśnieniem 220 kPa [40] i wykonano trzy powtórzenia zarówno masy, jak i objętości, gęstość obliczono przy użyciu równaia:

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p} \quad (8)$$

gdzie, m_p – masa całej cząstki, V_p – objętość całej cząstki.

Badanie gęstości pozornej (ρ_a) wykonano przy użyciu suwmiarki elektronicznej Vorel L-150 z dokładnością $\pm 0,01$ mm. Gęstość została następnie obliczona poprzez uwzględnienie masy cząstek i obliczonej objętości cząstki.



Rysunek 8. Piknometr gazowy i młynek laboratoryjny (kolejno od lewej).

Porowatość produktu

Na podstawie uzyskanych gęstości obliczono porowatość całkowitą (ε_t), otwartą (ε_o) i zamkniętą (ε_c) przy użyciu następujących równań:

$$\varepsilon_t = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t} * 100 \quad (9)$$

$$\varepsilon_o = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_p} * 100 \quad (10)$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_t - \varepsilon_o \quad (11)$$

Analiza tekstury produktów

Badania tekstury wysuszonego materiału przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron 5566 (Rys. 9) wyposażonej w głowicę tensometryczną, której zakres pomiarowy wynosił $1 \text{ kN} \pm 1 \text{ N}$.

Dla próbek w kształcie prostopadłościanów wykonano test zginania. Analizę tekstury przeprowadzono zgodnie z testem zginania 3-punktowego ($n=5$). Wytrzymałość na zginanie (σ_b) określono zgodnie z równaniem:

$$\sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W_b} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (12)$$

Maksymalny moment zginający M_{bmax} obliczono, korzystając z równania 13, gdzie F_{max} to maksymalna siła plastyczności, a L_s to rozpiętość próbki (mm):

$$M_{bmax} = \frac{F_{max} \cdot L_s}{4} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (13)$$

Podczas obliczania modułu przekroju W_b uwzględniono geometrię materiału. W przypadku prostokąta b to szerokość próbki, a h to wysokość materiału:

$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (\text{mm}^3) \quad (14)$$

Ponadto sztywność zginania określono na podstawie równania 15, gdzie f_{el} to sprężyste ugięcie środka próbki:

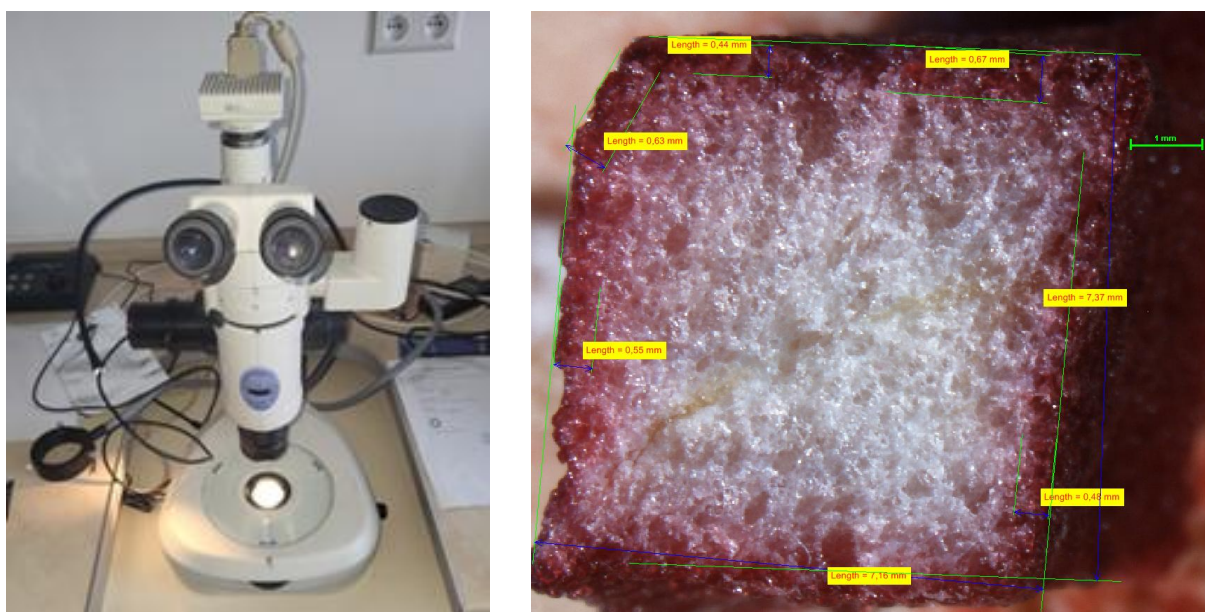
$$B = \frac{F_{max} \cdot L_s^3}{48 \cdot f_{el}} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}^2) \quad (15)$$



Rysunek 9. Maszyna wytrzymałościowa Instron 5566.

Analiza struktury wewnętrznej

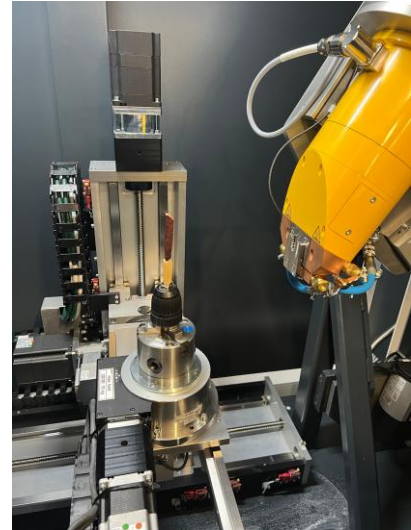
Analizę struktury przeprowadzono na podstawie obrazów uzyskanych przy użyciu mikroskopu odbiciowego SMZ 1500 (Nikon, Japonia) (Rys. 10) pozwalających uzyskać obrazy przy niewielkich powiększeniach. Przy użyciu oprogramowania NIKON NIS-Elements przeprowadzono analizę otrzymanych zdjęć mikroskopowych wykonując pomiary głębokości wnikania roztworów osmotycznych podczas odwadniania osmotycznego.



Rysunek 10. Mikroskop Nikon i przykładowe zdjęcie z mikroskopu (kolejno od lewej).

Mikrotomografia komputerowa produktów

Strukturę wewnętrzną materiału określono za pomocą mikrotomografii komputerowej przy użyciu Phoenix Vitomex S (Waygate Technologies, Niemcy) (Rys. 11). Rekonstrukcję i analizę skanu CT wykonano przy użyciu VG Studio Max (Volume Graphics, Heidelberg, Niemcy).



Rysunek 11. Mikrotomograf Phoenix Vitomex S

Zużycia energii elektrycznej podczas suszenia

Średnie moce poszczególnych elementów urządzenia zostały wyznaczone w badaniach empirycznych przy użyciu licznika energii elektrycznej MODBUS RS-485 - trójfazowy LE-03MP (Rys. 12).

Zużycie energii podczas suszenia konwekcyjnego (CD) wyznaczono przy użyciu następującego równania:

$$E_{CD} = (N_{went} + N_{grzał}) * (\tau) [kJ] \quad (16)$$

gdzie, N_{went} –średnia moc wentylatora (kW), $N_{grzał}$ –średnia moc grzałek dla zadanej temperatury powietrza (kW)

Zużycie energii podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego (VMD) wyznaczono przy użyciu następującego równania:

$$E_{VMD} = \left(\frac{N_{magnet}}{\eta_m} + N_{próż} * N_{obrot} \right) * (\tau) [kJ] \quad (17)$$



Rysunek 12. Licznik energii elektrycznej.

4.6. Analiza właściwości chemicznych surowców i produktów

Oznaczenie ilościowe i identyfikacja grup związków fenolowych metodą chromatografii cieczowej z układem fotodiodowym (UPLC-PDA)

Analizę związków polifenolowych przeprowadzono przy użyciu systemu ultrasprawnej chromatografii cieczowej UPLC Acquity (Waters Corp., Milford, MA, USA) (Rys. 13) wyposażonego w binarny system dozowania rozpuszczalników i detektor fotodiodowy (PDA).

Próbki poddano ekstrakcji za pomocą 5 mL mieszaniny metanolu i wody (3:7, v/v) zawierającej 2% kwasu askorbinowego oraz 1% kwasu octowego, przy użyciu sonikacji (Sonic-6D, Polsonic, Warszawa, Polska). Proces ekstrakcji powtórzono po 24 godzinach przechowywania próbek w temperaturze 4°C, następnie próbki odwirowano (19 000 g, 10 minut, 4°C; MPW-350, Warszawa, Polska). Otrzymane supernatanty przefiltrowano przez hydrofilową membranę PTFE (0,20 µm; Millex Simplicity Filter, Merck, Niemcy) i wykorzystano do dalszych analiz.

Separację związków fenolowych przeprowadzono na kolumnie analitycznej BEH Shield C18 (2,1 mm × 5 mm; 1,7 µm) przy przepływie fazy ruchomej wynoszącym 0,45 mL/min, stosując objętość wstrzyknięcia 5 µL. Kolumnę analityczną utrzymywano w temperaturze 30 °C, natomiast próbki przechowywano w 4 °C. Fazę ruchomą stanowiły: rozpuszczalnik A (4,5% kwas mrówkowy) oraz rozpuszczalnik B (acetonitryl). Program elucji był następujący: 0–5 min – gradient liniowy od 1% do 25% B; 5,0–6,5 min – gradient liniowy od 25% do 100% B; 6,5–7,5 min – mycie kolumny; 7,5–8 min – kondycjonowanie. Widma PDA rejestrowano w zakresie długości fal 200–600 nm. Analizy prowadzono przy długościach fal: 280 nm dla flawan-3-oli, 285 nm dla dichydrochalkonów, 320 nm dla kwasów fenolowych, 360 nm dla flawonoli i 520 nm dla antocyjanów. Czas retencji i widma porównano ze wzorcami referencyjnymi. Krzywe kalibracyjne w zakresie stężeń od 0,05 do 5 mg/mL ($R^2 \leq 0,9998$) wykonano dla następujących standardów: (–)-epikatechiny, kwasu chlorogenowego, kwercetyno-3-O-glukozydu,



cyjanidyno-3-O-glukozydu, floretina-2'-O-ksyloglukozyd i floridzin. Do rejestracji i integracji chromatogramów wykorzystano oprogramowanie Empower 3. Próbkę analizowano w trzech powtórzeniach. Wyniki wyrażono w mg na 100 g suchej masy.

Oznaczenie ilościowe polimerów procyanidyn metodą bezpośredniej floroglucynolizy z użyciem ultrasprawniej chromatografii cieczowej (UPLC) sprzężonej z detekcją fluorescencyjną (FL)

Analizę polimerycznych procyanidyn przeprowadzono metodą floroglucynolizy zgodnie z procedurą opisaną przez Wojdyło, Oszmiańskiego i Bielickiego (2013). Próbkę inkubowano z metanolem z dodatkiem kwasu askorbinowego przez 30 minut w temperaturze 50 °C na wytrząsarce termicznej (ThermoMixer C, Eppendorf AG, Hamburg, Niemcy). Po zakończeniu reakcji próbkę umieszczono w łaźni lodowej w celu zatrzymania reakcji, po czym mieszaninę reakcyjną rozcieńczano buforem octanowym i natychmiast odwirowano przy 19 000g przez 10 minut w temperaturze 4 °C (MPW-350; Warszawa, Polska).

Analizę wykonano przy użyciu systemu ultrasprawniej chromatografii cieczowej UPLC Acquity (Waters Corp., Milford, MA, USA) (Rys. 13) wyposażonego w binarny system dozowania rozpuszczalników oraz detektor fluorescencyjny (FL). Kolumnę analityczną utrzymywano w temperaturze 15 °C, natomiast próbki w temperaturze 4 °C. Faza ruchoma składała się z rozpuszczalnika A (2,5% kwasu octowego) i rozpuszczalnika B (acetonitrylu). Elucja przebiegała następująco: 0–0,6 min, izokratycznie 2% B; 0,6–2,17 min, gradient liniowy od 2 do 3% B; 2,17–3,22 min, gradient liniowy od 3 do 10% B; 3,22–5,00 min, gradient liniowy od 10 do 15% B; 5,00–6,00 min. Detekcję fluorescencyjną prowadzono przy długości fali wzbudzenia 278 nm oraz emisji 360 nm. Krzywe kalibracyjne, oparte na powierzchni pików, sporządzono przy użyciu (+)-katechiny, (-)-epikatechiny oraz procyanidyny B1 po reakcji z floroglucynolem, stosując jako wzorce addukty (+)-katechiny i (-)-epikatechiny z floroglucynolem.

Stopień polimeryzacji (DP) procyanidyn obliczono jako stosunek całkowitej liczby podjednostek flawan-3-olu (w tym adduktów floroglucynolowych) do liczby monomerów flawan-3-olu, skorygowany o ich zawartość oznaczoną oddzielnie. Próbkę analizowano w trzech powtórzeniach. Wyniki wyrażono w mg na 100 g suchej masy.



Rysunek 13. System ultrasprawnej chromatografii cieczowej UPLC Acquity.

Oznaczenie aktywności przeciwutleniającej metodami z kationorodnikiem ABTS^{•+} i jako zdolność redukcjonowania jonów Fe³⁺ (FRAP)

Próbki poddano ekstrakcji za pomocą 6 mL mieszaniny metanol/woda/kwas octowy/kwas askorbinowy (30:68:1:1, v/v/v/m), sonikowano przez 20 minut, a następnie inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 4 °C. Po inkubacji ekstrakt ponownie sonikowano przez 20 minut, a następnie odwirowano przy 19 000 g przez 10 minut w temperaturze 4 °C. Po odwirowaniu ekstrakt filtrowano przez membranę PTFE o porowatości 0,20 µm (Millex Simplicity Filter, Merck, Niemcy).

Test zdolności wychwytywania ABTS^{•+} (kwas 2,2'-azynobis(3-etylobenzotiazolino-6-sulfonowy)) opierał się na pomiarze zmiany intensywności koloru, która jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości substancji przeciwutleniających w próbce, według Re i in. (1999). Roztwór ABTS^{•+} przygotowano w taki sposób, aby jego absorbancja wynosiła $0,700 \pm 0,02$ przy długości fali 734 nm. Następnie, próbki wymieszano z roztworem ABTS^{•+}, a po 6 minutach zmierzono absorbancję przy tej samej długości fali. Jako próbę kontrolną zastosowano wodę destylowaną. Próbkę analizowano w trzech powtórzeniach. Wyniki wyrażono na podstawie krzywej kalibracyjnej ($R^2 = 0,9950$) dla stężeń Troloxu w zakresie od 0,100 do 0,900 mM.

Metoda FRAP (ferric reducing antioxidant power) polegała na ocenie zdolności substancji przeciwutleniających zawartych w próbkach do redukcji jonów Fe³⁺ do niebieskiego kompleksu jonów Fe²⁺, według Benzie i Strain (1996). Próbkę mieszano z wodą destylowaną, a następnie, 10 minut po dodaniu odczynnika FRAP (składającego się z buforu octanowego, 2,4,6-Tris(2-pirydył)-s-triazyna (TPTZ) w HCl i FeCl₃ × 6H₂O w stosunku objętościowym

10:1:1, v/v/v), zmierzono absorbancję próbek przy długości fali 593 nm. Wyniki wyrażono na podstawie krzywej kalibracyjnej ($R^2 = 0,9899$) dla stężeń Troloxu w zakresie od 0,050 do 0,900 mM. Wszystkie pomiary spektrofotometryczne wykonano za pomocą czytnika płytek Synergy H1 (BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA) (Rys. 14).



Rysunek 14. Czytnika płytek Synergy H1

4.7. Analiza mikrobiologiczna roztworów i produktów

Materiał badawczy stanowiły próbki, które po otrzymaniu przechowywano w temperaturze +4°C i niezwłocznie poddano analizie mikrobiologicznej.

Każdy wynik odczytywano po 72h inkubacji w termostacie w temperaturze odpowiedniej dla grupy drobnoustrojów.

Próbki przygotowano zgodnie z normą PN-90/A-75052/04 (Przetwory owocowe, warzywne i warzywno-mięsne. Metody badań mikrobiologicznych. Sposób pobierania i przygotowania próbek do badań mikrobiologicznych). Z każdej próbki przygotowano zawiesinę wyjściową (10-1) poprzez wstępne rozdrobnienie, naważenie i połączenie z płynem do rozcieńczeń, a następnie przeprowadzono homogenizację w homogenizatorze laboratoryjnym Stomacher (LABWARE) przy szybkości „high speed” w czasie $t=2$ minuty. Wszystkie wykonane czynności odbywały się w warunkach sterylnych, a tak przygotowana zawiesina próbek stałych i płynnych stanowiła zawiesinę do wszystkich przeprowadzonych badań.



Analizy mikrobiologiczne

Ogólna liczba drobnoustrojów

Próbki badano zgodnie z normą PN-EN ISO 4833-1:2013-12 + Ap1:2016-11 na podłożu PCA. Analizę przeprowadzono metodą płytkową (PCA-Merck). Na płytki Petriego przeniesiono: 3 x 1ml zawiesiny wyjściowej (10^{-1}) oraz po 2 próby dla badanych rozcieńczeń. Płytki zalano ~25ml upłynnionej i schłodzonej do temperatury ~45°C pożywki agarowej – PCA. Posiany materiał starannie wymieszano z pożywką, wykonując ostrożne ruchy w kształcie ósemki, a następnie pozostawiono do zestalenia. Odwrócone do góry dnem płytki inkubowano w temperaturze 30°C przez 72h. Wyniki podano jako j.t.k. w 1g/1mL badanego produktu.

Ogólna liczba drożdży i pleśni

Analizę przeprowadzono metodą płytkową (YGC-Merck) zgodnie z (PN-ISO 7954:1999 Mikrobiologia – Ogólne zasady oznaczania drożdży i pleśni. Metoda płytkowa w 25°C.). Na płytki Petriego przeniesiono zawiesinę wyjściową (10^{-1}) oraz po 2 próby dla badanych rozcieńczeń. Płytki zalano ~25ml upłynnionej i schłodzonej do temperatury ~45°C pożywki agarowej – YGC. Posiany materiał starannie wymieszano z pożywką, wykonując ostrożne ruchy w kształcie ósemki, a następnie pozostawiono do zestalenia. Odwrócone do góry dnem płytki inkubowano w temperaturze 30°C przez 72h. Wyniki podano jako j.t.k. w 1g/1mL badanego produktu.

Ogólna liczba bakterii kwasu mlekowego

Analizę przeprowadzono metodą płytkową (MRS agar-Merck) zgodnie z PN-ISO 15214:2002. Na płytki Petriego przeniesiono: 3x 1ml zawiesiny wyjściowej (10^{-1}) oraz po 2 próby dla badanych rozcieńczeń. Posiany materiał starannie wymieszano z pożywką, wykonując ostrożne ruchy w kształcie ósemki, a następnie pozostawiono do zestalenia. Płytki zalano ~25ml upłynnionej i schłodzonej do temperatury ~45°C pożywki agarowej – MRS-agar. Odwrócone do góry dnem płytki inkubowano w temperaturze 30°C przez 72h. Wyniki podano jako j.t.k. w 1g/mL badanego produktu.

4.8. Analiza statystyczna wyników

Wszystkie testy statystyczne przeprowadzono przy użyciu programu STATISTICA 13.3 (StatSoft, Kraków, Polska). Przeprowadzono analizę wariancji (ANOVA) zmiennych niezależnych i ich interakcji przy poziomie istotności ustalonym na $\alpha = 0,05$. Analiza



obejmowała obliczenie następujących parametrów związanych ze zmiennością międzygrupową dla badanych czynników: F — wartość statystyki F i p — wartość poziomu istotności. Wyniki testów fizykochemicznych wyrażono jako wartości średnie z odchyleniami standardowymi.

Do dopasowania modeli matematycznych do danych eksperymentalnych na podstawie najniższych wartości średniego błędu kwadratowego (RMSE) i najwyższych wartości współczynnika determinacji (R^2) wykorzystano program Table Curve 2D v. 5.0 (Systat Software, Inc., San Jose, Kalifornia, USA).



5. Wyniki badań

5.1. Wyznaczenie składu roztworu osmotycznego

5.1.1. Przygotowanie roztworów bazowych do badań

Zagęszczone soki jabłkowy i aroniowy były rozcieńczane do stężenia $40 \pm 0,2^\circ\text{Brix}$. Zagęszczony sok jabłkowy był rozcieńczany dwoma rozpuszczalnikami wodą (W) oraz sokiem tłoczonym bezpośrednio ze świeżych owoców- NFC (NFC). Zagęszczony sok aroniowy był rozcieńczany tylko wodą (W). W tabeli 1 przedstawiono wyniki dotyczące ilości rozpuszczalnika wykorzystanego do rozcieńczenia zagęszczonych soków.

Tabela 1. Ilość rozpuszczalnika w roztworze osmotycznym.

Rodzaj zagęszczonego soku i NFC	Stężenie soku ($^\circ\text{Brix}$)	Udział zag. soku (g)	Udział rozpuszczalnika (g)		Stężenie roztworu ($^\circ\text{Brix}$)
			Woda	NFC	
RAUCH - jabłkowy	$55,4 \pm 0,5$	$100 \pm 0,2$	$35,9 \pm 0,5$	$46,7 \pm 0,4$	$40,0 \pm 0,3$
PURENA-jabłkowy	$61,2 \pm 0,4$	$100 \pm 0,5$	$53,4 \pm 0,6$	$73,3 \pm 0,5$	$40,0 \pm 0,3$
YAGOODY- aroniowy	$67,7 \pm 0,6$	$100 \pm 0,4$	$70,4 \pm 0,9$	-	$40,0 \pm 0,3$
NFC	$11,4 \pm 0,3$	-	-	-	-

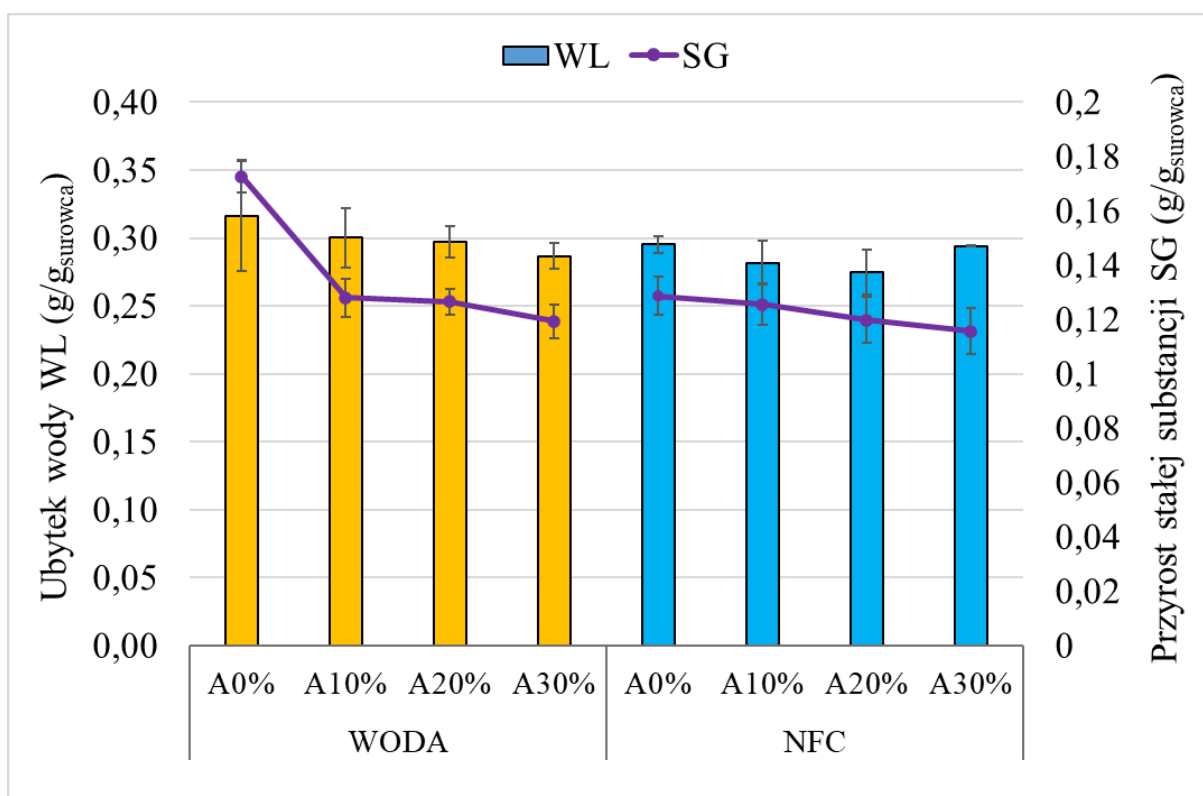
W celu uzyskania bazowego roztworu osmotycznego o stężeniu $40,0 \pm 0,3^\circ\text{Brix}$ dla określonego zagęszczonego soku należy dobrać określoną ilość rozpuszczalnika. Stężenie początkowe soków zagęszczonych wynosiło od $55,4$ do $67,7^\circ\text{Brix}$, dlatego w celu przygotowania roztworów osmotycznych należy dokonywać pomiarów stężenia, a następnie korygować ilość dodanego rozpuszczalnika. Wartość stężenia początkowego roztworu osmotycznego (40°Brix) jest wynikiem wielu badań podstawowych pozwalających na intensywną wymianę masy w trakcie procesu odwadniania, biorąc pod uwagę zarówno przyrost suchej substancji (SG) oraz ubytek wody (WL). Mieszanie różnych soków wykonywano dla soków o stężeniu $40,0 \pm 0,3^\circ\text{Brix}$.

5.1.2. Wpływ rozpuszczalnika na WL i SG

Badania wpływu rodzaju rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego (od 0 do 30%) w roztworze osmotycznym na ubytek wody (WL) i przyrost stałej substancji (suchej substancji) (SG) przeprowadzono dla jabłek w kształcie frytek. Udział roztworu do surowca wynosił 3:1, stężenie roztworu 40°Brix , przygotowany na bazie soku z firmy RAUCH (zgodnie z Tab.1). Czas odwadniania wynosił 90 minut, temperatura roztworu 45°C . Po procesie odwadniania

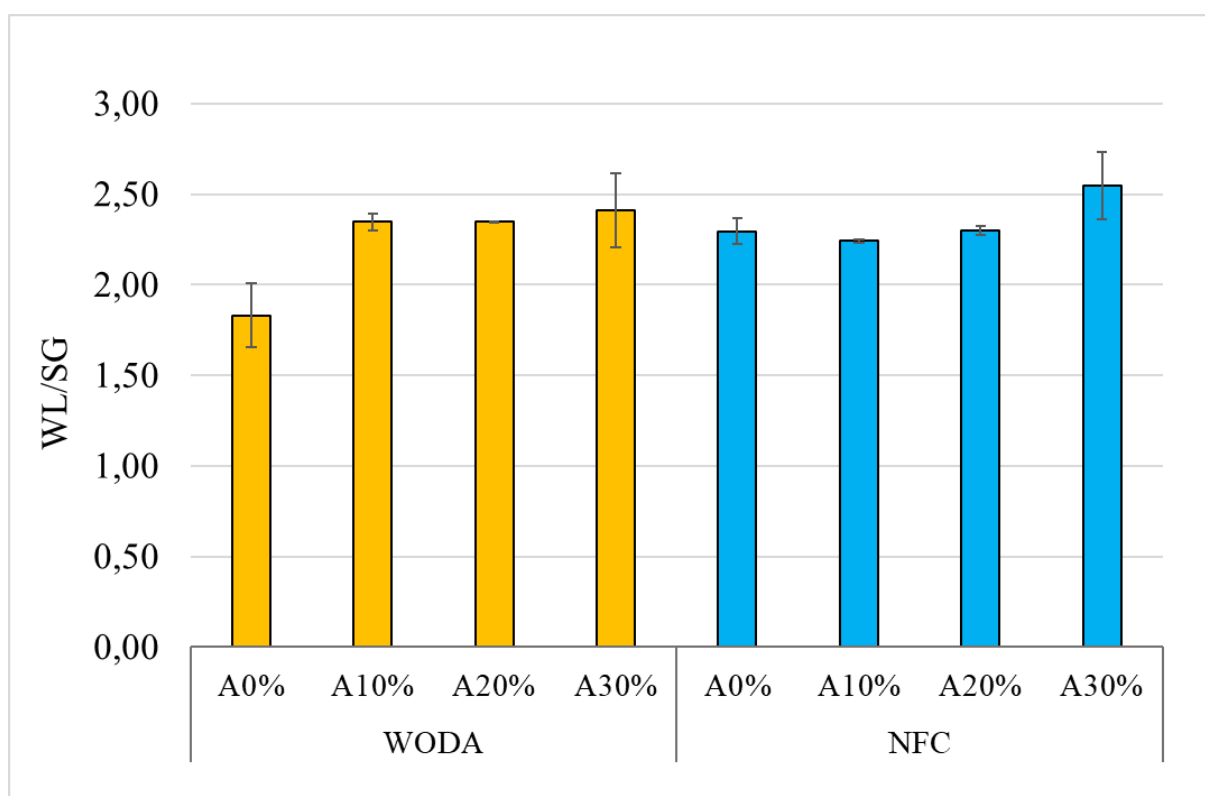
próbki suszono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 50°C przez 12 godzin, a następnie oznaczano zawartość suchej masy w próbkach. Próbkę po suszeniu przekazano do dalszych badań.

Na rysunku 15 przedstawiono ubytek wody i przyrost stałej substancji dla roztworu osmotycznego uzyskanego na bazie zagęszczonego soku jabłkowego rozcieńczonego wodą lub sokiem NFC oraz ich mieszanek z sokiem aroniowym przy różnym udziale. Aby porównać uzyskane wyniki przeprowadzono analizę statystyczną.



Rysunek 15. Wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL i SG.

Stosunek WL do SG przedstawiono na rysunku 16. Ten parametr pokazuje rodzaj przepływu masy podczas procesu odwadniania osmotycznego oraz wyjaśnia, który z procesów jest intensywniejszy. Przeważnie wartości WL/SG znajdują się w zakresie od 2 do 6. Oznacza to, że ubytek wody jest znacznie większy od przyrostu stałej substancji i jest to zjawisko pozytywne jeżeli odwadnianie przeprowadza się w roztworach osmotycznych uzyskiwanych na bazie roztworów soli lub sacharozy. Natomiast w przypadku roztworów osmotycznych uzyskanych na bazie zagęszczonych soków owocowych lub warzywnych niższa wartość tego parametru jest bardziej pozytywna.



Rysunek 16. Wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL/SG.

Przeprowadzona analiza statystyczna (Tab. 2) wykazała, że żaden z badanych czynników nie miał istotnego wpływu na WL. W przypadku SG wszystkie badane czynniki oraz ich interakcje wpływały istotnie na wartość przyrostu stałej substancji podczas odwadniania osmotycznego. Rodzaj rozpuszczalnika nie wpływał istotnie na WL/SG natomiast istotny statystycznie wpływ wykazano dla udziału soku oraz jej interakcji z rodzajem rozpuszczalnika.

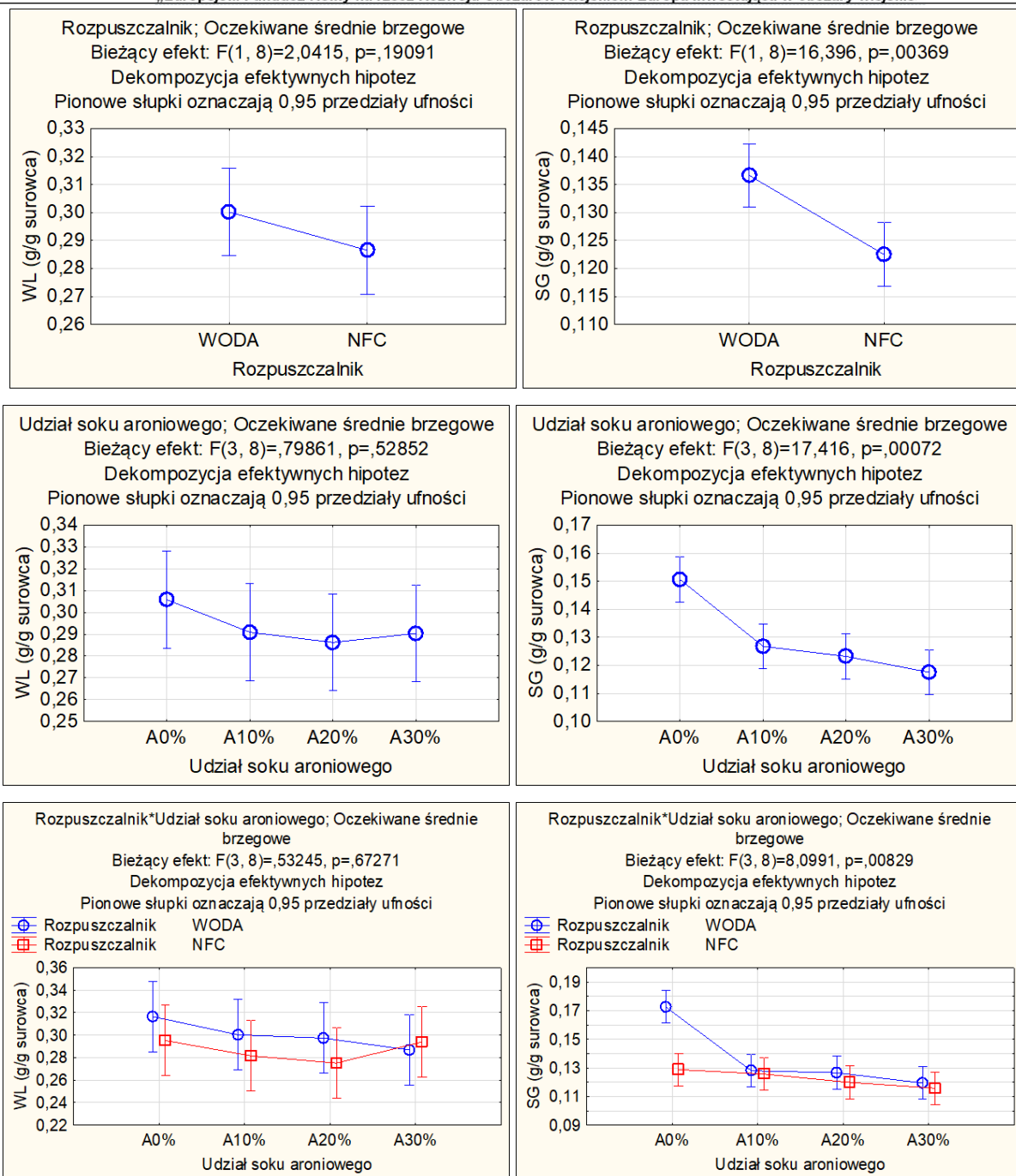
Tabela 2. Analiza statystyczna wpływu rodzaju rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na WL i SG oraz WL/SG.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności					
	WL (g/g surowca)		SG (g/g surowca)		WL/SG	
	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	3728,532	0,000	5504,824	0,000	5817,161	0,000
Rozpuszczalnik	2,042	0,191	16,396	0,004	3,485	0,099
Udział soku aroniowego	0,799	0,529	17,416	0,001	8,129	0,008
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	0,532	0,673	8,099	0,008	4,572	0,038



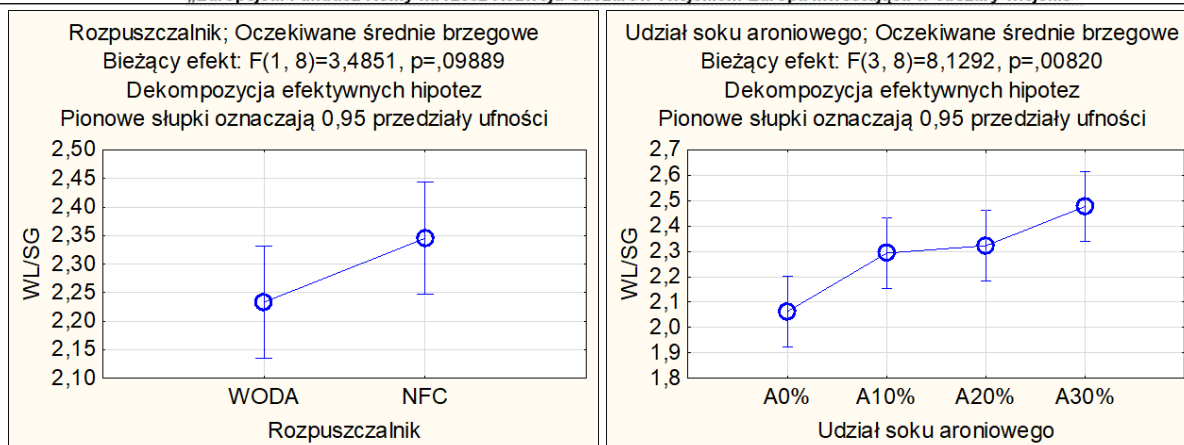
5.1.3. Wpływ rozpuszczalnika na właściwości chemiczne jabłek

Na rysunku 17 przedstawiono średnie brzegowe dla badanych czynników. Okazało się, że zastosowanie soku NFC jako rozpuszczalnika nie wpływa istotnie statystycznie na WL, natomiast w niewielkim stopniu zmniejsza ilość usuwanej wody podczas odwadniania. Natomiast NFC istotnie obniża przyrost suchej substancji, oznacza to, że mniej soku będzie przenikać do odwadnianego jabłka tym samym proces będzie trwał dłużej w stosunku do zastosowania wody jako rozpuszczalnika. Podsumowując wymiana masy podczas odwadniania osmotycznego w roztworze rozcieńczanym wodą będzie zachodzić szybciej niż rozcieńczanym w soku NFC. Analizując średnie brzegowe dotyczące udziału soku aroniowego w roztworze okazało się, że nie miał on istotnego statystycznie wpływu na WL jednakże wykazywał tendencje spadkowe wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego w roztworze. Z kolei wzrost udziału soku aroniowego w roztworze obniżał wykładniczo przyrost suchej substancji podczas odwadniania. Może to być spowodowane tym, że cząsteczki soku aroniowego mają mniejszą masę cząsteczkową. Podsumowując wzrost udziału soku aroniowego w roztworze osmotycznym powoduje zmniejszenie wymiany masy między surowcem a roztworem.



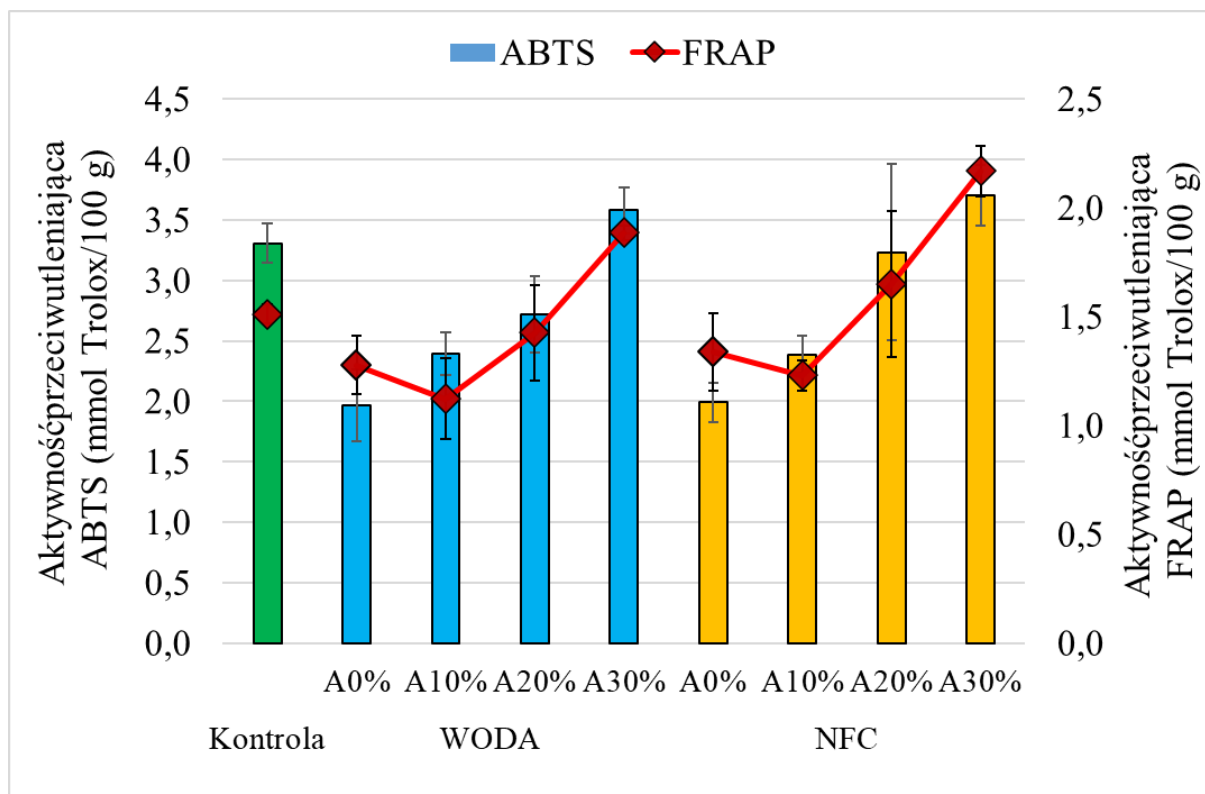
Rysunek 17. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL i SG.

Analizując średnie brzegowe okazało się, że rodzaj rozpuszczalnika nie wpływał istotnie na WL/SG natomiast zauważono niewielką tendencję wzrostu tego parametru dla roztworów w których zastosowano sok NFC (Rys. 18). Istotny statystycznie wpływ miał udział dodatku soku aroniowego do roztworu i wraz ze wzrostem jego udziału wzrastał stosunek WL/SG. Natomiast uzyskane wartości są całkowicie akceptowalne jeżeli chodzi o odwadnianie w zagęszczonych sokach owocowych, ponieważ SG jest stosunkowo wysokie, co w konsekwencji wpłynie na właściwości jakościowe odwadnianego jabłka.



Rysunek 18. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL/SG.

Aktywność przeciwutleniająca odwadnianych jabłek oraz roztworów osmotycznych przedstawiono na rysunku 19. Wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego w roztworze osmotycznym wzrastał potencjał przeciwutleniający w odwadnianych jabłkach. Jednakże dopiero udział 30% aronii w roztworze powodował, że aktywność w jabłkach była większa niż w jabłkach nie poddanych odwadnianiu osmotycznemu. Jest to związane z tym, że sok jabłkowy posiada niższą aktywność przeciwutleniającą i cząstki które wnikają w trakcie procesu do jabłek powodują w obniżenie ich aktywności oznaczonych metodami ABTS i FRAP.



Rysunek 19. Aktywność przeciwutleniająca ABTS i FRAP jabłek odwadnianych osmotycznie.

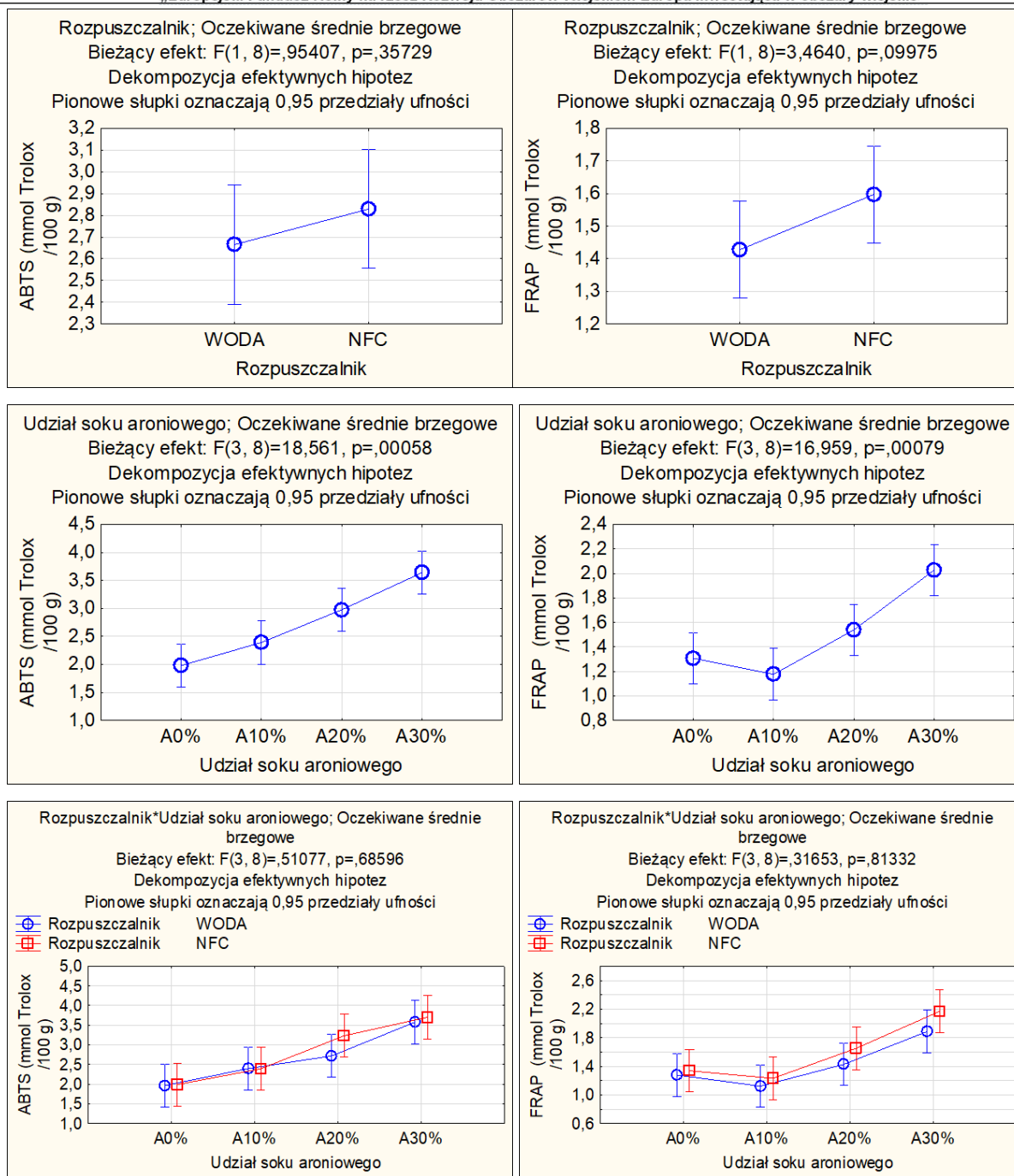


Przeprowadzona analiza statystyczna (Tab. 2) wykazała, że rodzaj rozpuszczalnika nie ma istotnego statystycznie wpływu na ABTS i FRAP, natomiast udział soku aroniowego ma istotny wpływ na te wartości.

Tabela 2. Analiza statystyczna wpływu rodzaju rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na ABTS i FRAP.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności			
	ABTS		FRAP	
	F	p	F	p
Wyraz wolny	1072,76	0,0000	1106,180	0,0000
Rozpuszczalnik	0,95	0,3573	3,464	0,0997
Udział soku aroniowego	18,56	0,0006	16,959	0,0008
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	0,51	0,6860	0,317	0,8133

Na rysunku 20 przedstawiono średnie brzegowe wpływu poszczególnych czynników na aktywność przeciwutleniającą w jabłkach. Pomimo nieistotnego wpływu rodzaju rozpuszczalnika na aktywność można stwierdzić, że roztwór rozważany soki NFC charakteryzował się nieco większymi właściwościami niż te roztwory, które były rozważane wodą. Prawdopodobnie ten wzrost jest związany z natywnymi substancjami pochodzącymi w soku NFC, który nie był poddany wysokotemperaturowej obróbce (Rys. 20). Z kolei dodatek aronii niezależnie od rodzaju rozpuszczalnika powodował przyrost wartości ABTS i FRAP w odwadnianych jabłkach. Jednakże oczekiwany przyrost aktywności powinien być większy, dlatego w kolejnych badaniach zwiększono udział soku aroniowego do nawet 80%.



Rysunek 20. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na ABTS i FRAP.

W tabeli 3 przedstawiono wpływ rodzaju rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego w roztworze osmotycznym na zawartość związków fenolowych w odwadnianych jabłkach. W przypadku kwasów fenolowych przeprowadzona analiza statystyczna (Tab. 4) nie wykazała wpływu rozpuszczalnika na jego zawartość, natomiast wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego wzrastał jego udział. Podobne zależności występowały dla Flawanoli i



Dihydrochalkonów. Nie wykazano wpływu żadnego czynnika na Polimery procyjanidyn i sumaryczną zawartość związków fenolowych (Tab. 5). Dlatego zdecydowano się zwiększyć udział soku aroniowego w roztworze, w celu zwiększenia zawartości związków fenolowych w odwadnianych jabłkach.



Tabela 3. Wpływ rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w odwadnianych jabłkach.

Rozpuszczalnik	Udział soku aroniowego	Związki fenolowe (mg/100 g)							
		Kwasy fenolowe (chlorogenic acid*)	Flawanole (quercetin-3-O-glucoside*)	Dihydrochalkony		Flawan-3-ole - monomery i oligomery (epicatechin*)	Polimery procyanidyn	Stopień polimeryzacji (DP)	Suma związków fenolowych (g/100 g)
				Phloretin-2'-O-xyloglucoside	Phloretin-2'-O-glucoside (Phloridzin)				
Kontrola		28,58±0,12	4,3±0,22	8,94±3,58	3,58±1,54	82,57±11,05	7675±1564	1,06±0,002	7,8±1,57
WODA	A0%	30,15±6,45	2,01±0,2	3,97±0,71	2,7±0,16	38,46±10,72	4793±832	1,066±0,003	4,87±0,85
WODA	A10%	45,48±0,05	7,3±0,33	4,67±0,27	3,25±0,04	51,06±1,04	5613±1	1,099±0,003	5,73±0
WODA	A20%	59,85±0,64	11,43±0,43	4±0,63	2,49±0,14	49,7±4,24	4782±172	1,142±0,01	4,91±0,18
WODA	A30%	77,48±2,95	15,26±1,58	3,86±0,01	2,32±0,37	122,57±2,01	5693±497	1,152±0,018	5,92±0,49
NFC	A0%	33,36±6,46	1,99±0,03	4,34±0,19	2,62±0,21	35,42±4,45	4492±389	1,062±0,002	4,57±0,4
NFC	A10%	50,88±2,49	8,31±1,13	5,09±0,86	3,09±0,05	45,65±1,39	5090±275	1,103±0,004	5,2±0,28
NFC	A20%	70,33±5,3	12,98±4,17	4,93±0,52	3,03±0,23	57,55±5,53	4826±900	1,133±0,003	4,98±0,92
NFC	A30%	80,01±7,59	15,22±0,88	3,43±0,52	2,06±0,12	117,1±0,68	5056±434	1,17±0,026	5,28±0,44



Tabela 4. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w odwadnianych jabłkach.

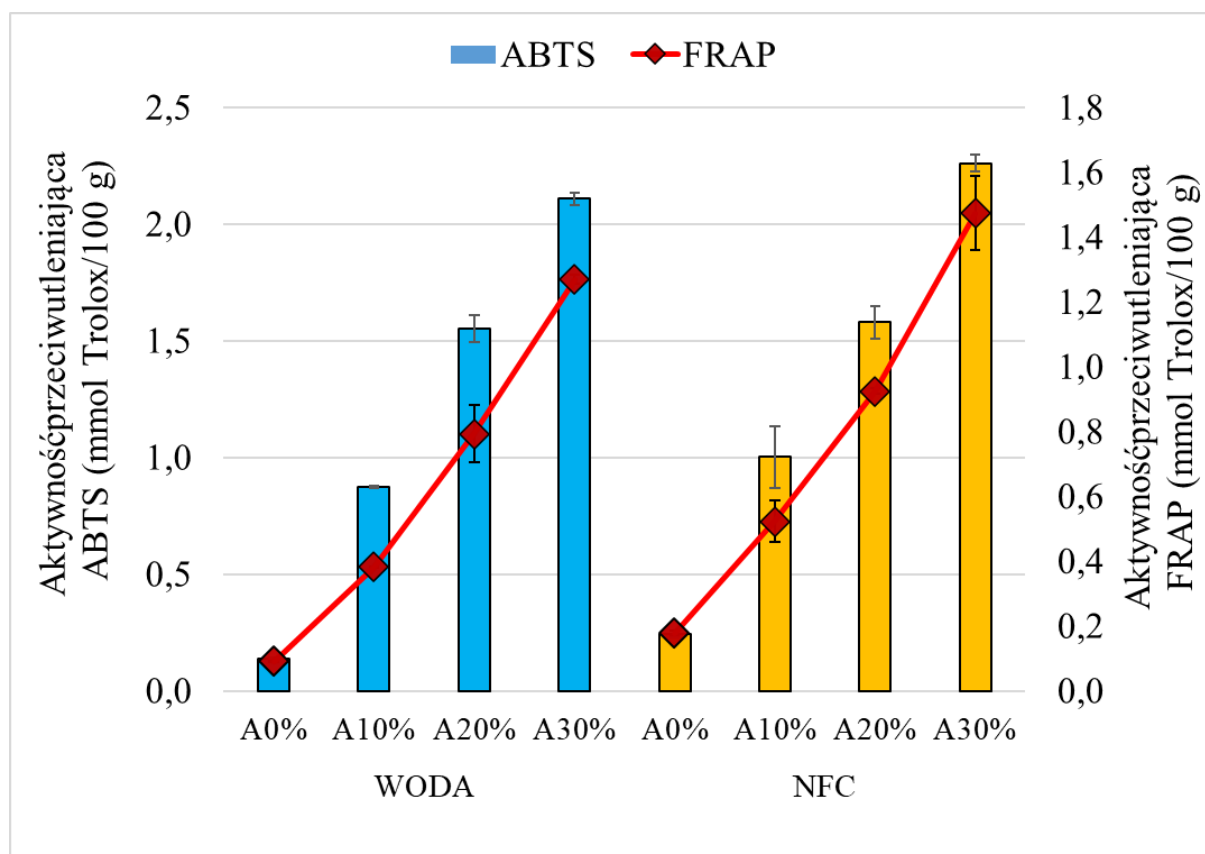
Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Kwasy fenolowe		Flawanole		Phloretin-2'-O-xyloglucoside		Phloretin-2'-O-glucoside	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	2172,0	0,000	498,7	0,000	1027,0	0,000	3136,69	0,000
Rozpuszczalnik	5,064	0,055	0,563	0,475	1,427	0,267	0,009	0,925
Udział soku aroniowego	72,231	0,000	47,530	0,000	3,803	0,058	17,322	0,001
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	0,562	0,655	0,225	0,876	1,115	0,398	3,559	0,067

Tabela 5. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w odwadnianych jabłkach.

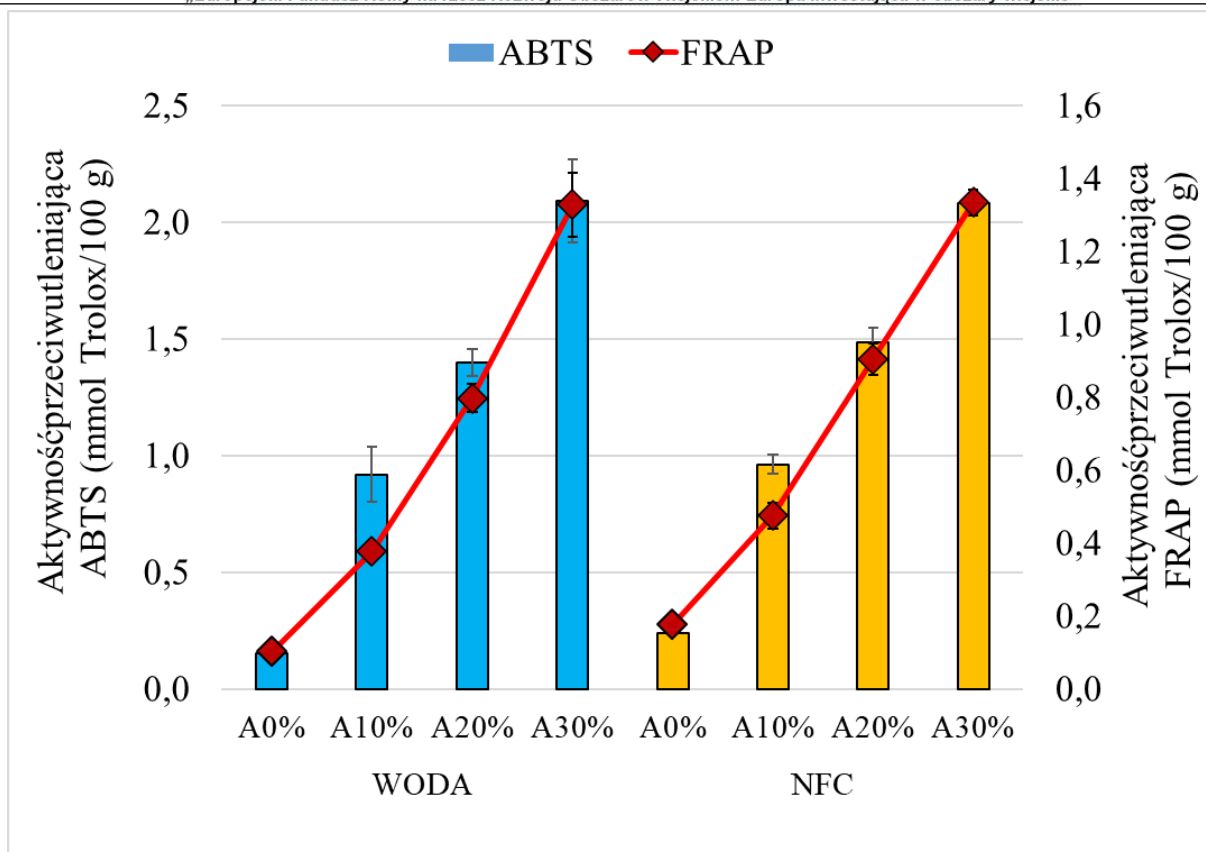
Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Flawan-3-ole		Polimery procyjanidyn		Stopień polimeryzacji		Suma związków fenolowych	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	2809,6	0,000	1484,00	0,000	139235	0,000	1517,4	0,000
Rozpuszczalnik	0,387	0,551	1,832	0,213	0,098	0,762	1,726	0,225
Udział soku aroniowego	235,014	0,000	2,054	0,185	50,302	0,000	2,457	0,138
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	1,690	0,246	0,328	0,806	0,990	0,445	0,341	0,797

5.1.4. Wpływ rozpuszczalnika na właściwości chemiczne roztworów

Aktywność przeciwutleniająca roztworów (20°Brix) przed procesem odwadniania i po procesie odwadniania (czas odwadniania 90 minut) przedstawiono na rysunku 21 i 22. Okazuje się, że w trakcie procesu odwadniania osmotycznego następuje wnikanie substancji stałych do jablek co powinno skutkować obniżeniem aktywności roztworu po procesie odwadniania, jednakże jego aktywność nieznacznie wzrasta. Jest to związane z tym, że następuje selektywne wnikanie substancji stałych i te o mniejszej aktywności wnikają szybciej, a te o wyższej pozostają w roztworze (duża masa cząsteczkowa), powoduje wzrost aktywności roztworu po procesie. Dlatego ten roztwór należy w odpowiedni sposób zagospodarować na przykład jako zagęszczony sok do produkcji napojów.



Rysunek 21. Aktywność przeciwutleniająca ABTS i FRAP roztworów osmotycznych przed procesem odwadniania osmotycznego.



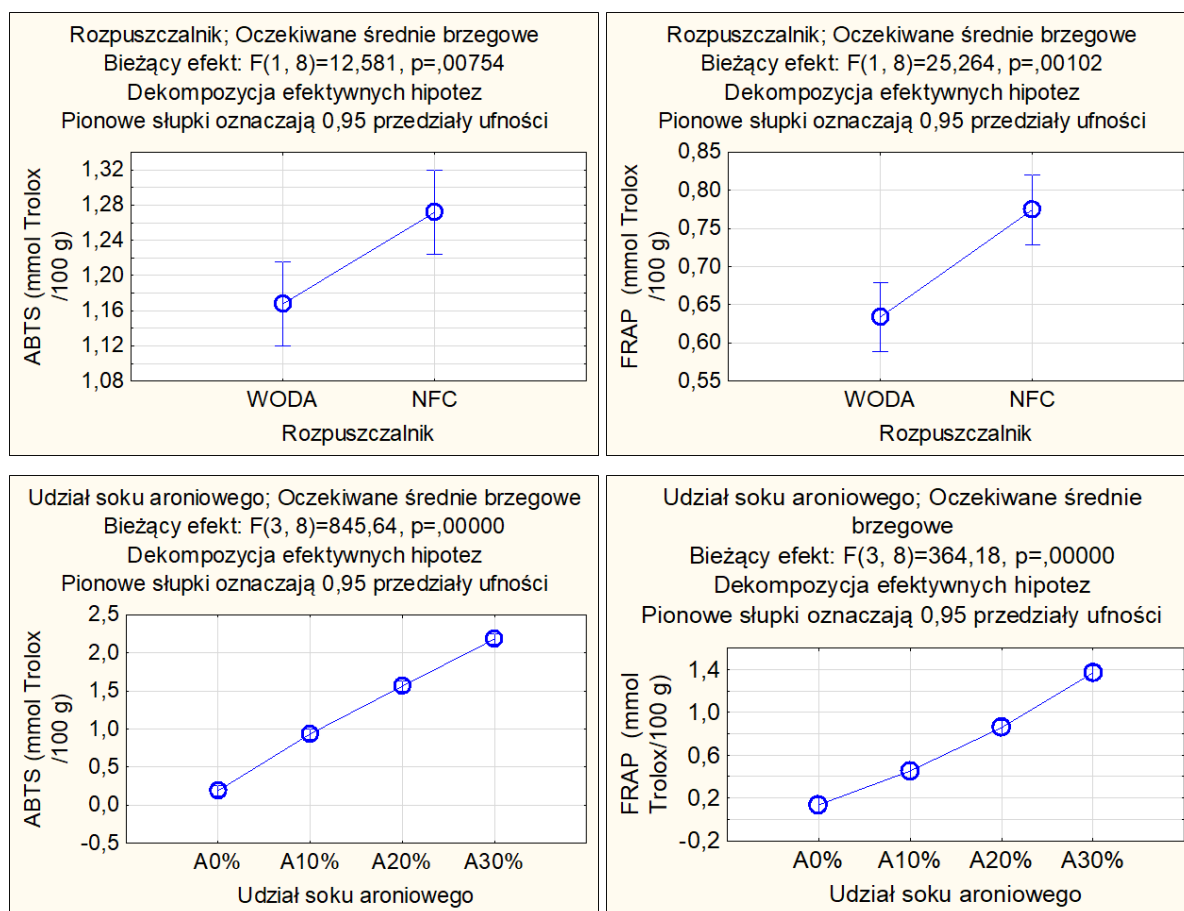
Rysunek 22. Aktywność przeciwutleniająca ABTS i FRAP roztworów osmotycznych po procesie odwadniania osmotycznego.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że zarówno rozpuszczalnik oraz udział soku aroniowego w roztworze ma istotny wpływ w większości przypadków na aktywność przeciwutleniającą (Tab. 6). w tym celu przeprowadzono analizę średnich brzegowych dla badanych czynników.

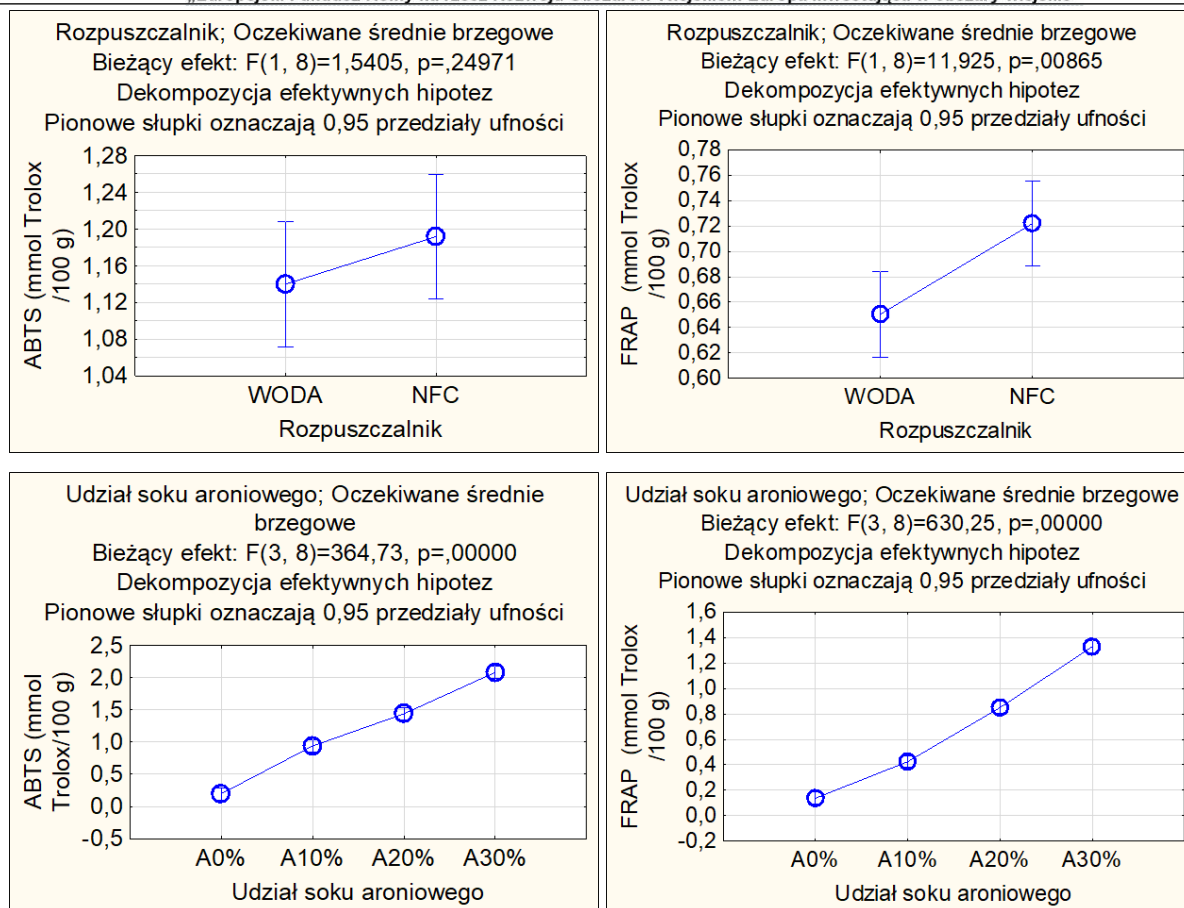
Tabela 6. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na ABTS i FRAP w roztworach osmotycznych przed i po procesie odwadniania

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Przed odwadnianiem osmotycznym				Po odwadnianiu osmotycznym 90 min.			
	ABTS		FRAP		ABTS		FRAP	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	6899,80	0,000	2531,61	0,000	3111,0	0,000	4393,7	0,000
Rozpuszczalnik	12,58	0,008	25,26	0,001	1,5	0,250	11,9	0,009
Udział soku aroniowego	845,64	0,000	364,18	0,000	364,7	0,000	630,2	0,000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	0,82	0,520	0,73	0,563	0,314	0,815	1,2	0,361

Na rysunkach 23 i 24 przedstawiono analizę średnich brzegowych dla badanych czynników dla roztworów przed procesem odwadniania i po procesie odwadniania. Okazuje się, że roztwory rozcieńczane sokiem NFC posiadają wyższą aktywność przeciwutleniającą, natomiast nie przekładało się to na wzrost tej aktywności w odwadnianym jabłku. Prawdopodobnie ten sok posiadał duże cząstki, które wpływały na wzrost aktywności roztworu, natomiast ze względu na swój rozmiar nie wnikały do odwadnianego surowca. w przypadku udziału soku aroniowego w roztworze, aktywność zwiększała się liniowo wraz ze wzrostem udziału soku w roztworze. Ponieważ sok aroniowy posiada znacznie większą aktywność oznaczaną metodą ABTS i FRAP niż sok jabłkowy.



Rysunek 23. Analiza statystyczna ABTS i FRAP roztworów osmotycznych przed procesem odwadniania osmotycznego.



Rysunek 24. Analiza statystyczna ABTS i FRAP roztworów osmotycznych po procesie odwadniania osmotycznego

W tabeli 7 przedstawiono wpływ rodzaju rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego w roztworze osmotycznym na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych (20°Brix) przed procesem odwadniania osmotycznego. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotny wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na zawartość kwasów fenolowych, flawonoli, polimerów procyjanidyn, stopnia polimeryzacji i sumarycznej zawartości związków fenolowych (Tab. 8 i 9). Ponadto twierdzono, że większy wpływ na ich zawartość miał udział soku aroniowego w roztworze, który wzrastał wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego w roztworze osmotycznym. Nie wykazano istotnego wpływu tych dwóch czynników na dihydrochalkony. Wpływ rozpuszczalnika był zdecydowanie mniejszy, roztwory rozładniwane sokiem NFC posiadały nieco większą zawartość związków fenolowych, które prawdopodobnie pochodziły z tego rozpuszczalnika.



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Tabela 7. Wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych przed procesem odwadniania.

Rozpuszczalnik	Udział soku aroniowego	Związki fenolowe (mg/100 g)							
		Kwasy fenolowe (chlorogenic acid*)	Flawanole (quercetin-3-O-glucoside*)	Dihydrochalkony		Flawan-3-ole - monomery i oligomery (epicatechin*)	Polimery procyanidyn	Stopień polimeryzacji (DP)	Suma związków fenolowych (g/100 g)
				Phloretin-2'-O-xyloglucoside	Phloretin-2'-O-glucoside (Phloridzin)				
WODA	A0%	3,66±0,27	0,21±0,01	0,57±0,01	0,49±0,01	7,42±0,33	178±97	1,318±0,277	0,19±0,1
WODA	A10%	13,59±0,14	2,6±0,04	0,58±0,03	0,48±0,05	7,11±1,16	1862±87	1,519±0,003	1,89±0,09
WODA	A20%	24,13±0,11	5,34±0,15	0,56±0,01	0,46±0,02	14,26±5,89	3944±53	1,544±0,01	4±0,05
WODA	A30%	34,69±0,3	8,56±0,04	0,58±0,01	0,44±0,02	14,33±1,55	6071±308	1,531±0,001	6,14±0,31
NFC	A0%	4,29±0,09	0,18±0,04	0,64±0,01	0,49±0,05	6,6±0,43	845±50	1,053±0,002	0,86±0,05
NFC	A10%	15,01±0,33	2,49±0,03	0,65±0,01	0,42±0,05	8,79±0,65	2618±472	1,35±0,005	2,65±0,47
NFC	A20%	24,42±0,11	5,05±0,17	0,59±0,02	0,42±0,01	11±0,78	4372±81	1,432±0,004	4,42±0,08
NFC	A30%	35,81±0,19	8,36±0,12	0,4±0,32	0,43±0,01	13,25±0,78	6005±285	1,428±0,004	6,08±0,28



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Tabela 8. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych przed procesem odwadniania.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Kwasy fenolowe		Flawanole		Phloretin-2'-O-xyloglucoside		Phloretin-2'-O-glucoside	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	133820,8	0,000	29594,6	0,000	401,82	0,000	2902,9	0,000
Rozpuszczalnik	65,7	0,000	11,0	0,011	0,02	0,978	3,2	0,113
Udział soku aroniowego	15890,7	0,000	5566,4	0,000	0,95	0,460	2,1	0,175
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	5,6	0,023	1,4	0,317	1,08	0,412	0,6	0,606

Tabela 9. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych przed procesem odwadniania.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Flawan-3-ole		Polimery procyjanidyn		Stopień polimeryzacji		Suma związków fenolowych	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	339,5	0,000	3143,3	0,000	3241,2	0,000	3239,4	0,000
Rozpuszczalnik	0,6	0,459	14,9	0,005	11,0	0,011	15,0	0,005
Udział soku aroniowego	9,0	0,006	427,9	0,000	8,5	0,007	439,3	0,000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	0,8	0,522	2,5	0,129	0,6	0,647	2,6	0,127



W tabeli 10 przedstawiono wpływ rodzaju rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego w roztworze osmotycznym na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych (20°Brix) po procesie odwadniania osmotycznego przez 90 minut. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotny wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na zawartość kwasów fenolowych, flawonoli, polimerów procyjanidyn i sumarycznej zawartości związków fenolowych (Tab. 11 i 12). Ponadto twierdzono, że większy wpływ na ich zawartość miał udział soku aroniowego w roztworze, który wzrastał wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego w roztworze osmotycznym. Nie wykazano istotnego wpływu tych dwóch czynników na dihydrochalkony oraz stopień polimeryzacji. Wpływ rozpuszczalnika był zdecydowanie mniejszy, roztwory rozwadniane sokiem NFC posiadały nieco większą zawartość związków fenolowych, które prawdopodobnie pochodziły z tego rozpuszczalnika.

Analizując zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych przed i po odwadnianiu można stwierdzić, że ich wartość w tych roztworach nieznacznie się zmienia pozostając na bardzo wysokim poziomie, dlatego kolejnym etapem badań było ponowne wykorzystanie roztworu osmotycznego do procesu odwadniania osmotycznego.



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Tabela 10. Wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych po procesie odwadniania.

Rozpuszczalnik	Udział soku aroniowego	Związki fenolowe (mg/100 g)							
		Kwasy fenolowe (chlorogenic acid*)	Flawanole (quercetin-3-O-glucoside*)	Dihydrochalkony		Flawan-3-ole - monomery i oligomery (epicatechin*)	Polimery procyjanidyn	Stopień polimeryzacji (DP)	Suma związków fenolowych (g/100 g)
				Phloretin-2'-O-xyloglucoside	Phloretin-2'-O-glucoside (Phloridzin)				
WODA	A0%	3,67±0,16	0,21±0,01	0,61±0,03	0,5±0,01	6,52±0,17	478±329	1,279±0,334	0,74±0,02
WODA	A10%	13,62±0,43	2,6±0	0,61±0,01	0,51±0,02	9,1±0,51	2227±195	1,346±0,007	2,26±0,19
WODA	A20%	23,4±0,32	5,22±0,13	0,6±0,03	0,46±0	10,94±0,27	4246±158	1,424±0,035	4,29±0,16
WODA	A30%	34,42±0,77	8,43±0,16	0,6±0	0,42±0,01	14,23±0,24	5984±118	1,452±0,007	6,06±0,12
NFC	A0%	4,42±0,17	0,2±0,02	0,66±0,02	0,47±0,05	7,81±1,97	1530±139	1,046±0	1,54±0,14
NFC	A10%	14,6±0,38	2,41±0,02	0,62±0,02	0,42±0,04	9,6±2,4	3157±219	1,267±0,024	3,19±0,22
NFC	A20%	24,4±0,03	5,07±0,03	0,62±0,03	0,45±0,01	12,14±2,35	4098±1339	1,368±0,006	4,15±1,34
NFC	A30%	34,23±0,23	7,89±0,1	0,62±0,02	0,43±0,01	9,99±5,77	6912±84	1,399±0,006	6,98±0,08



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Tabela 11. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych po procesie odwadniania.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Kwasy fenolowe		Flawanole		Phloretin-2'-O-xyloglucoside		Phloretin-2'-O-glucoside	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	41147,6	0,000	39258,1	0,000	13142,7	0,000	5038,3	0,000
Rozpuszczalnik	11,4	0,010	30,0	0,001	5,5	0,046	5,6	0,046
Udział soku aroniowego	4762,2	0,000	7186,3	0,000	1,3	0,341	4,2	0,046
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	2,2	0,166	7,6	0,010	0,8	0,547	2,8	0,112

Tabela 12. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych po procesie odwadniania.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Flawan-3-ole		Polimery procyjanidyn		Stopień polimeryzacji		Suma związków fenolowych	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	263,9	0,000	799,0	0,000	1973,4	0,000	875,0	0,000
Rozpuszczalnik	0,063	0,808	7,4	0,026	3,1	0,116	6,5	0,035
Udział soku aroniowego	3,338	0,077	83,2	0,000	3,9	0,053	85,9	0,000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	1,142	0,389	1,2	0,360	0,5	0,680	1,1	0,401



5.1.5. Analiza mikrobiologiczna jabłek i roztworów osmotycznych

Nie stwierdzono drobnoustrojów: bakterii mlekowych, drożdży i pleśni w 1 g próbki suszu z jabłek. Ogólna liczba drobnoustrojów oznaczana na podłożu PCA - brak w 1 g próbki suszu z jabłek. W przypadku roztworów osmotycznych rozważanych wodą i sokiem NFC nie stwierdzono bakterii mlekowych, drożdży i pleśni w 1g próbki. Natomiast ogólna liczba drobnoustrojów oznaczona na podłożu PCA, była zróżnicowana i kształtowała się na niskim poziomie od 0 do $5,5 \times 10^2$ jtk/g próby.

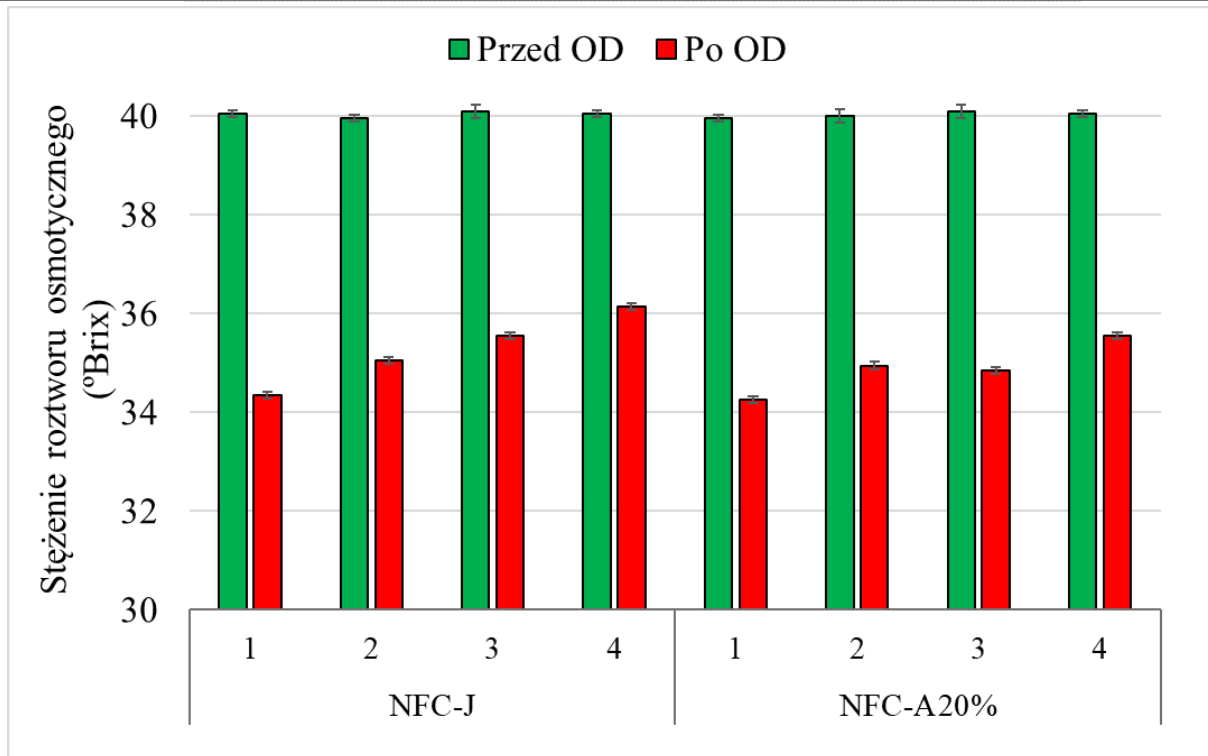
5.2. Wielokrotne wykorzystanie roztworu osmotycznego

Wyniki badań skład roztworu osmotycznego wykazały, że po jednym cyklu odwadniania osmotycznego roztwór posiadał dużą zawartość związków fenolowych oraz charakteryzował się wysoką aktywnością przeciwutleniającą. Dlatego zdecydowano się na przeprowadzenie badań w których wykorzystuje się ten sam roztwór do kolejnego odwadniania osmotycznego po uprzednim dodaniu zagęszczonego soku w celu uzyskania stężenia wyjściowego (40°Brix).

Badania wpływu rodzaju roztworu (NFC-J i NFC-A20%) oraz kolejnego cyklu odwadniania osmotycznego (1, 2, 3, 4 każdy po 90 minut) na ubytek wody (WL) i przyrost stałej substancji (SG) przeprowadzono dla jabłek w kształcie frytek. Udział roztworu do surowca wynosił 3:1, stężenie roztworu około 40°Brix, przygotowany na bazie soku z firmy RAUCH (zgodnie z Tab.1). Czas odwadniania wynosił 90 minut dla każdego cyklu, temperatura roztworu 45°C. Po procesie odwadniania próbki suszono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 50°C przez 12 godzin, a następnie oznaczano zawartość suchej masy w próbkach. Próbki po suszeniu przekazano do dalszych badań.

5.2.1. Stężenie roztworu osmotycznego po kolejnym odwadnianiu

Na rysunku 25 przedstawiono zmianę stężenia roztworu po procesie odwadniania osmotycznego. W pierwszym cyklu odwadniania stężenie roztworu spadło o ponad 14 % dla obu badanych roztworów. Po ponownym przygotowaniu roztworu do kolejnego procesu dodano zagęszczony sok w celu uzyskania 40°Brix i przeprowadzeniu kolejnego odwadniania świeżych jabłek przez 90 minut. W drugim cyklu stężenie spadło o ponad 12% o dwa mniej niż w pierwszym cyklu, może to świadczyć o tym że proces stopniowo wyhamowuje. Jest to również związane z tym, że podczas odwadniania w zagęszczonych sokach następuje selektywne wnikanie cząstek o różnych masach cząsteczkowych i te mniejsze prawdopodobnie wnikają w pierwszej kolejności i w kolejnych cyklach jest ich coraz mniej dlatego proces ten może wyhamowywać. Po czwartym cyklu odwadniania stężenie spadło już jedynie o około 9%.

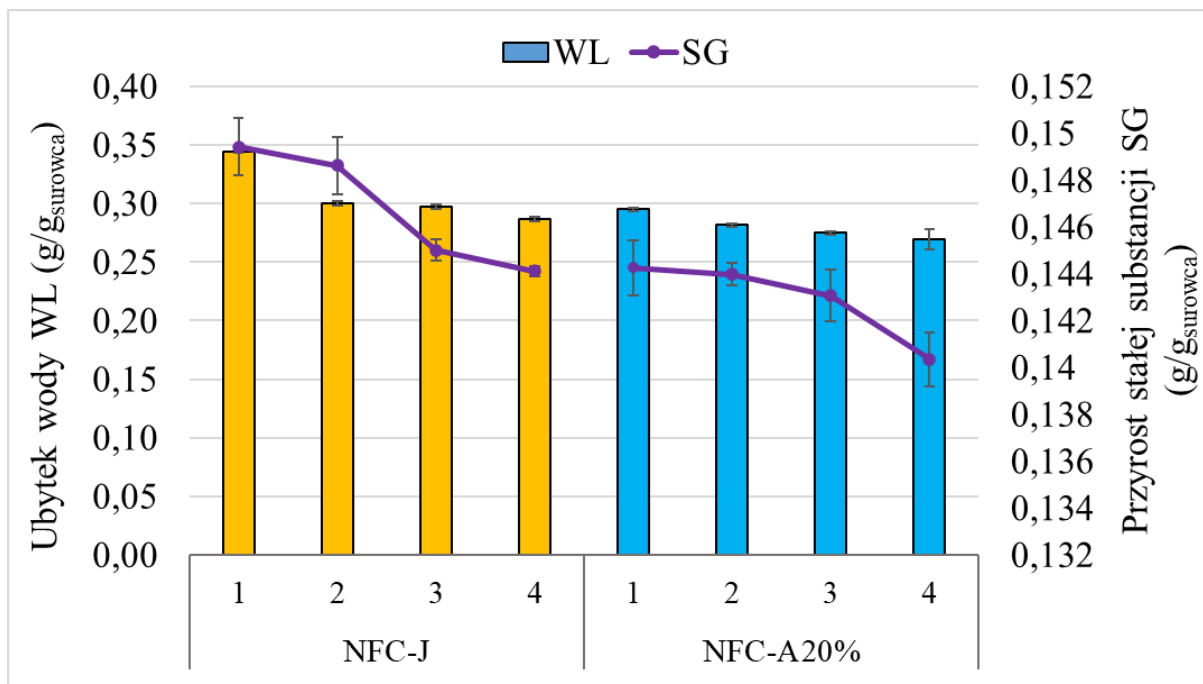


Rysunek 25. Stężenie roztworu osmotycznego dla kolejnego odwadniania osmotycznego (1-4).

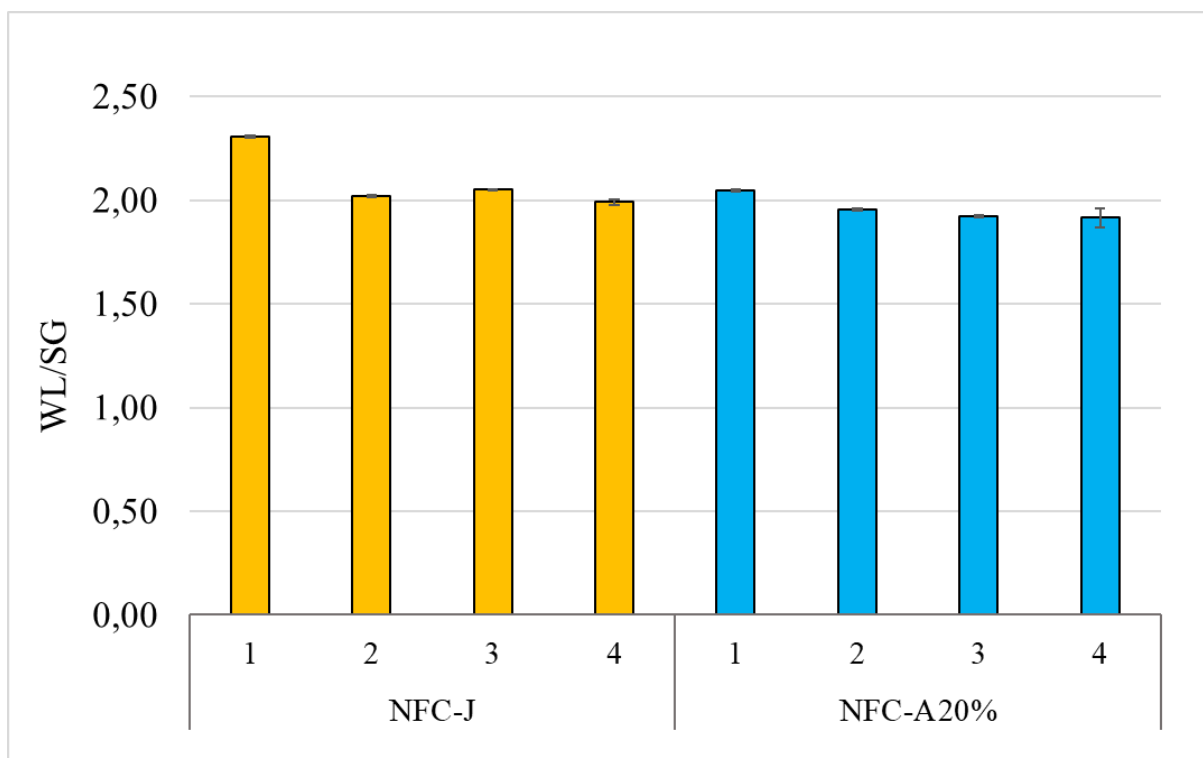
5.2.2. Wpływ kolejnego odwadniania na WL i SG

Na rysunku 26 przedstawiono wpływ kolejnego odwadniania na ubytek wody (WL) i przyrost suchej substancji (SG) w jabłkach odwadnianych w dwóch roztworach jabłkowym rozcieńczanym sokiem NFC (NFC-J) oraz jabłkowym też rozcieńczanym sokiem NFC z dodatkiem 20 % soku aroniowego (NFC-A20%). Wraz z kolejnym odwadnianiem następuje wyhamowanie procesu wymiany masy zarówno wody jak i substancji stałej wnikałej do jabłek. Najwyższe wyhamowanie jest zauważalne po pierwszym cyklu odwadniania w kolejnych cyklach wymiana masy jest mniejsza natomiast już nie w takim dużym stopniu. Jednakże warto zauważyć, że proces ten zmienia się w niewielkim stopniu, co jest dobrą informacją, że roztwór do procesu odwadniania może być wielokrotnie wykorzystywany to znacząco wpłynie na koszty produkcji i zmniejszy problem z zagospodarowaniem roztworu osmotycznego po procesie odwadniania ponieważ można będzie wykorzystać znacznie mniejsze ilości tego roztworu. Dodatkowa ważne jest to, że skład roztworu nie ma wielkiego wpływu na sam proces i niezależnie od rodzaju roztworu przebiega bardzo podobnie. Na rysunku 27 przedstawiono stosunek WL do SG zauważalny jest spadek jego wartości po pierwszym cyklu natomiast w kolejnych cyklach jest on niewielki dodatkowo istotny jest fakt,

że proces wyhamowuje natomiast relacja między WL i SG pozostaje stała, co może gwarantować powtarzalność procesową ważną dla przemysłu.



Rysunek 26. Wpływ kolejnego odwadniania na ubytek wody (WL) i przyrost suchej substancji (SG) w jabłkach odwadnianych



Rysunek 27. Wpływ kolejnego odwadniania na WL/SG.

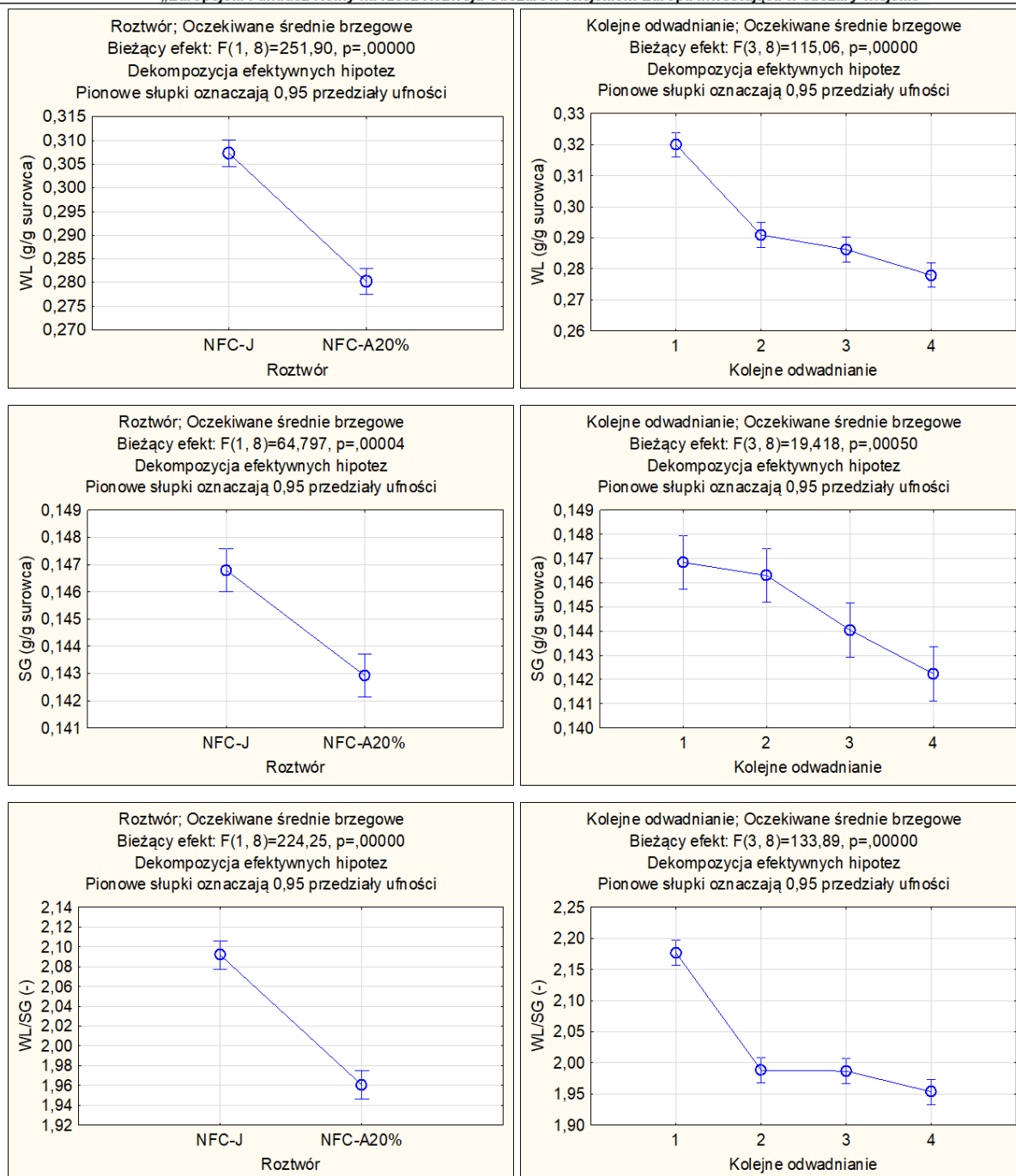
Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że zarówno rodzaj roztworu oraz kolejne odwadnianie miało wpływ na transfer wymiany masy podczas odwadniania, próbki



odwadniane w roztworze NFC-J charakteryzowały się nieco większą wymianą masy niż dla roztworu NFC-A20%. Może to być związane z tym, że sok aroniowy posiada cząstki o mniejszej masie cząsteczkowej co w konsekwencji wpływa na wartość wymiany masy (Tab. 13).

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności					
	WL		SG		WL/SG	
	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	119030,8	0,000	361748,9	0,000	213210,0	0,000
Roztwór	251,9	0,000	64,8	0,000	224,3	0,000
Kolejne odwadnianie	115,1	0,000	19,4	0,000	133,9	0,000
Roztwór*Kolejne odwadnianie	19,6	0,000	2,2	0,172	26,4	0,000

Analizując średnie brzegowe Można stwierdzić, że zarówno WL jak i SG mają mniejsze wartości dla roztworu z udziałem soku aroniowego (Rys. 28). Różnica jest istotna statystycznie natomiast rzeczywiste wartości różnią się niewiele. Ponadto należy stwierdzić, że te dwa parametry opisujące proces również się zmniejszają wraz z kolejnym cyklem odwadniania, świadczy to o tym, że roztwór zmienia swój skład co wpływa na proces wymiany. Jednakże tempo zmian jest stosunkowo nie wielkie i zdecydowanie powinno się wykorzystywać roztwór osmotyczny wielokrotnie po uprzednim odtworzeniu stężenia początkowego. Taka praktyka znacząco wpłynie na efektywność tej technologii.

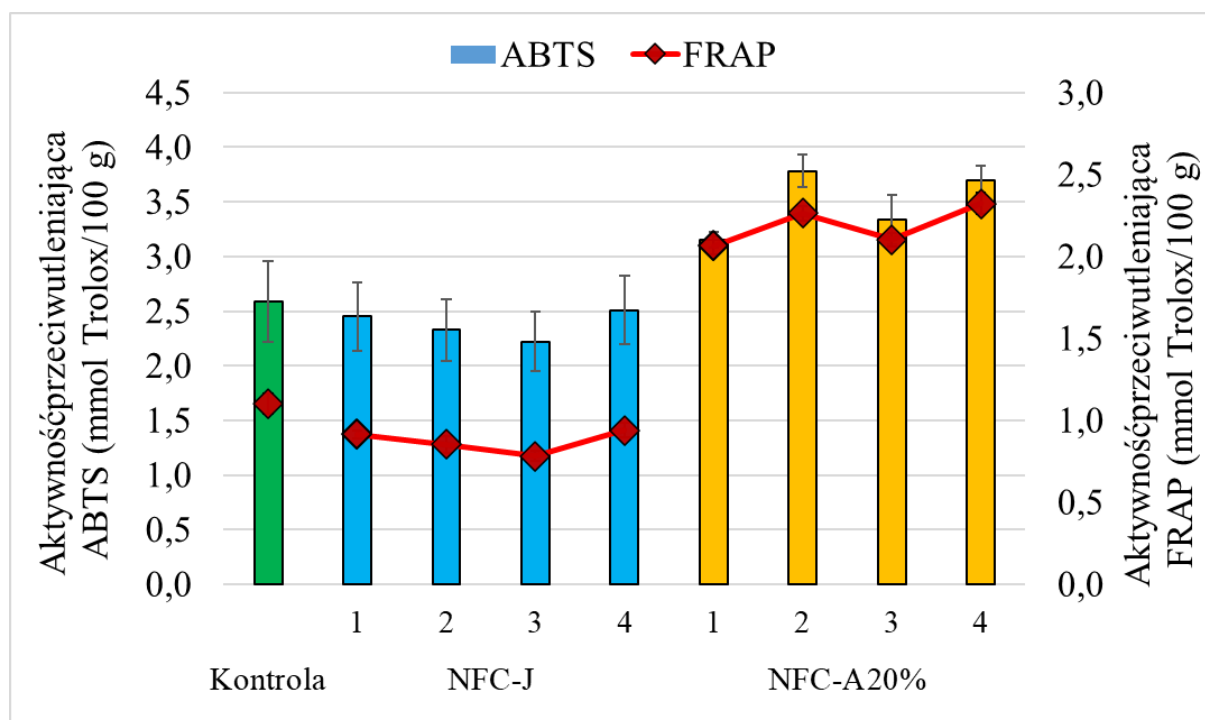


Rysunek 28. Analiza statystyczna wpływ kolejnego odwadniania na WL, SG i WL/SG.

5.1.2. Wpływ kolejnego odwadniania na właściwości chemiczne jabłek

Ponowne wykorzystanie roztworu osmotycznego wpływała na proces wymiany masy, natomiast ten wpływ był niewielki. Bardzo ważnym parametrem decydującym o jakości produktu są jego właściwości bioaktywne. Dlatego przeprowadzono badania dotyczące wpływu kolejnego odwadniania osmotycznego w tym samym roztworze na jakość produktu. Na rysunku 29 przedstawiono wpływ kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą

ABTS i FRAP dla jabłek odwadnianych w roztworach osmotycznych. W przypadku soku NFC-J suszone jabłka miały nieco mniejszą aktywność ABTS i FRAP niż jabłka bez odwadniania osmotycznego (kontrola), jest to związane z tym, że cząstki z roztworu posiadały niższą bioaktywność i wnikały do jabłek obniżając ją. Natomiast roztwór z dodatkiem 20% soku z aronii powodował znaczący wzrost aktywności przeciwutleniającej. Bardzo ważną informacją jest fakt, że nawet dla 4 cyklu odwadniania jabłka nadal charakteryzowały się aktywnością jak po pierwszym odwadnianiu dzięki temu można stwierdzić, że ponowne wykorzystanie roztworu nie wpływa na końcową aktywność suszonych jabłek i roztwór może być z powodzeniem wielokrotnie wykorzystywany.



Rysunek 29. Wpływ kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAP dla jabłek odwadnianych osmotycznie.

Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdziła, że istotny wpływ na ABTS i FRAP ma rodzaj roztworu natomiast kolejne odwadnianie w przypadku ABTS był nieistotny statystycznie natomiast w przypadku FRAP był istotny, ale siła jego oddziaływania była niewielka (Tab.14).



Tabela 13. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAP dla jabłek odwadnianych osmotycznie.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności			
	ABTS		FRAP	
	F	p	F	p
Wyraz wolny	2477,7	0,0000	17731,3	0,0000
Roztwór	89,1	0,0000	3288,3	0,0000
Kolejne odwadnianie	2,0	0,1887	12,8	0,0020
Roztwór*Kolejne odwadnianie	1,7	0,2373	6,3	0,0171

Zawartość związków fenolowych w jabłkach odwadnianych kilkakrotnie w tych samych roztworach przedstawiono w tabeli 15. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że praktycznie dla wszystkich badanych parametrów jakościowych zarówno rodzaj roztworu oraz kolejny cykl odwadniania osmotycznego miał istotny statystycznie wpływ na ich wartość, poza kolejnym odwadnianie dla stopnia polimeryzacji (Tab. 16 i 17.). Jednakże analizując wartości liczbowe można zauważyć, że zmiana większości badanych związków dla tych samych roztworów jest niewielka dla między kolejnymi cyklami odwadniania osmotycznego. Jest kolejny rodzaj badań potwierdzający, że z powodzeniem można wykorzystać kolejny raz ten sam roztwór osmotyczny do procesu odwadniania osmotycznego i nie będzie on miał istotnego wpływu na jakość odwadnianych jabłek.

Wyniki tych badań również potwierdziły fakt, że wartość dodatku soku aroniowego w ilości 20 % jest zbyt niska, dlatego w dalszych badaniach zaproponowano zwiększenie udziału tego soku do nawet 80%.



Roztwór	Kolejne odwadnianie	Związki fenolowe (mg/100 g)							
		Kwasy fenolowe (chlorogenic acid*)	Flawanole (quercetin-3-O-glucoside*)	Dihydrochalkony		Flawan-3-ole - monomery i oligomery (epicatechin*)	Polimery procyanidyn	Stopień polimeryzacji (DP)	Suma związków fenolowych (g/100 g)
				Phloretin-2'-O-xyloglucoside	Phloretin-2'-O-glucoside (Phloridzin)				
Kontrola		28,93±2,05	1,61±0,52	2,84±0,24	1,34±0,17	58,02±5,49	6385±313	1,063±0,002	6,48±0,32
NFC-J	1	10,7±0,13	0,75±0,01	1,31±0,02	0,91±0,02	21,92±0,4	2735±64	1,078±0,006	2,77±0,02
NFC-J	2	11,64±0,14	1,09±0,01	1,39±0,02	0,95±0,02	23,57±0,4	3014±67	1,068±0,009	3,05±0,02
NFC-J	3	14,94±0,13	0,58±0,01	3,52±0,06	1,05±0,03	25,57±0,52	2824±73	1,072±0,005	2,87±0,06
NFC-J	4	12,56±0,16	1,3±0,01	1,96±0,03	1,15±0,03	31,06±0,57	4154±98	1,077±0,013	4,2±0,03
NFC-A20%	1	54,64±0,68	11,72±0,09	1,71±0,03	1,29±0,04	40,49±0,66	4433±96	1,18±0,086	4,55±0,03
NFC-A20%	2	52,74±0,5	12,05±0,09	1,76±0,04	1,04±0,03	35,97±0,86	3888±114	1,187±0,09	4±0,04
NFC-A20%	3	56,7±0,55	10,96±0,08	2,07±0,03	0,95±0,02	40,85±0,55	4331±81	1,132±0,083	4,45±0,03
NFC-A20%	4	53,14±0,54	12,44±0,15	1,72±0,03	1,06±0,02	44,85±0,63	4691±91	1,157±0,15	4,81±0,03

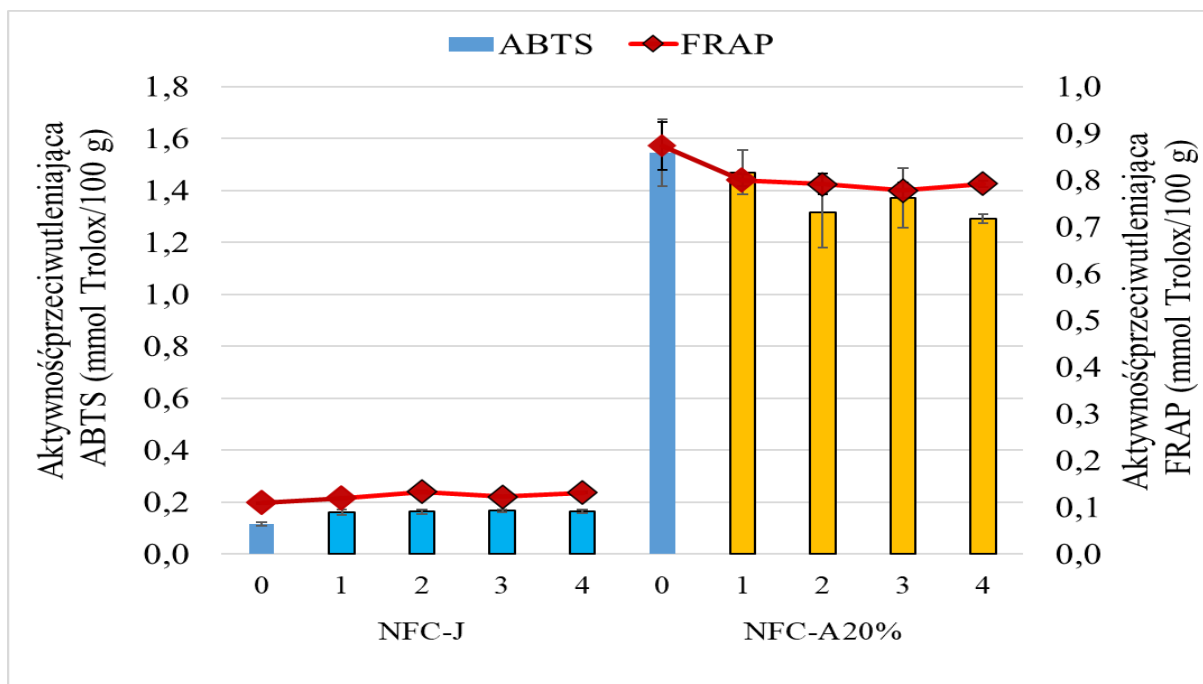


Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Kwasy fenolowe		Flawanole		Phloretin-2'-O-xyloglucoside		Phloretin-2'-O-glucoside	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	102487,6	0,000	115225,6	0,000	48806,4	0,000	25928,4	0,000
Roztwór	40263,3	0,000	84028,8	0,000	176,1	0,000	28,6	0,001
Kolejne odwadnianie	62,4	0,000	159,8	0,000	1150,5	0,000	22,4	0,000
Roztwór*Kolejne odwadnianie	12,6	0,002	19,5	0,000	615,8	0,000	73,9	0,000

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Flawan-3-ole		Polimery procyjanidyn		Stopień polimeryzacji		Suma związków fenolowych	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	49983,7	0,000	29975,6	0,000	3565,2	0,000	192678,5	0,000
Roztwór	2580,4	0,000	706,5	0,000	5,8	0,042	4920,0	0,000
Kolejne odwadnianie	146,0	0,000	105,9	0,000	0,1	0,952	663,4	0,000
Roztwór*Kolejne odwadnianie	20,1	0,000	38,9	0,000	0,1	0,947	243,0	0,000

5.2.4. Wpływ kolejnego odwadniania na właściwości chemiczne roztworów

Po każdym cyklu kolejnego odwadniania osmotycznego odlewano określoną ilość roztworu osmotycznego w celu określenia jego składu chemicznego oraz aktywności przeciwutleniającej. Dzięki temu można określić jakie związki wnikają do jabłek podczas procesu odwadniania osmotycznego oraz sprawdzić czy roztwór jest jeszcze bogatym źródłem substancji, które w procesie odwadniania osmotycznego będą wzbogacać odwadniany surowiec. Na rysunku 30 przedstawiono wyniki aktywności przeciwutleniającej roztworów przed i po kolejnym odwadnianiu osmotycznym. W przypadku soku jabłkowego rozładnianego sokiem NFC po pierwszym cyklu odwadniania aktywność przeciwutleniająca roztworu wzrastała, związane jest to z tym, że cząstki o mniejszej masie cząsteczkowej wnikały do jabłek, a te większe pozostawały w roztworze podnosząc bioaktywność. Odwrotna sytuacja występuje w roztworze z dodatkiem soku aroniowego, w tym przypadku aktywność przeciwutleniająca maleje z kolejnym cyklem, jednakże wartość jest nadal na wysokim poziomie.



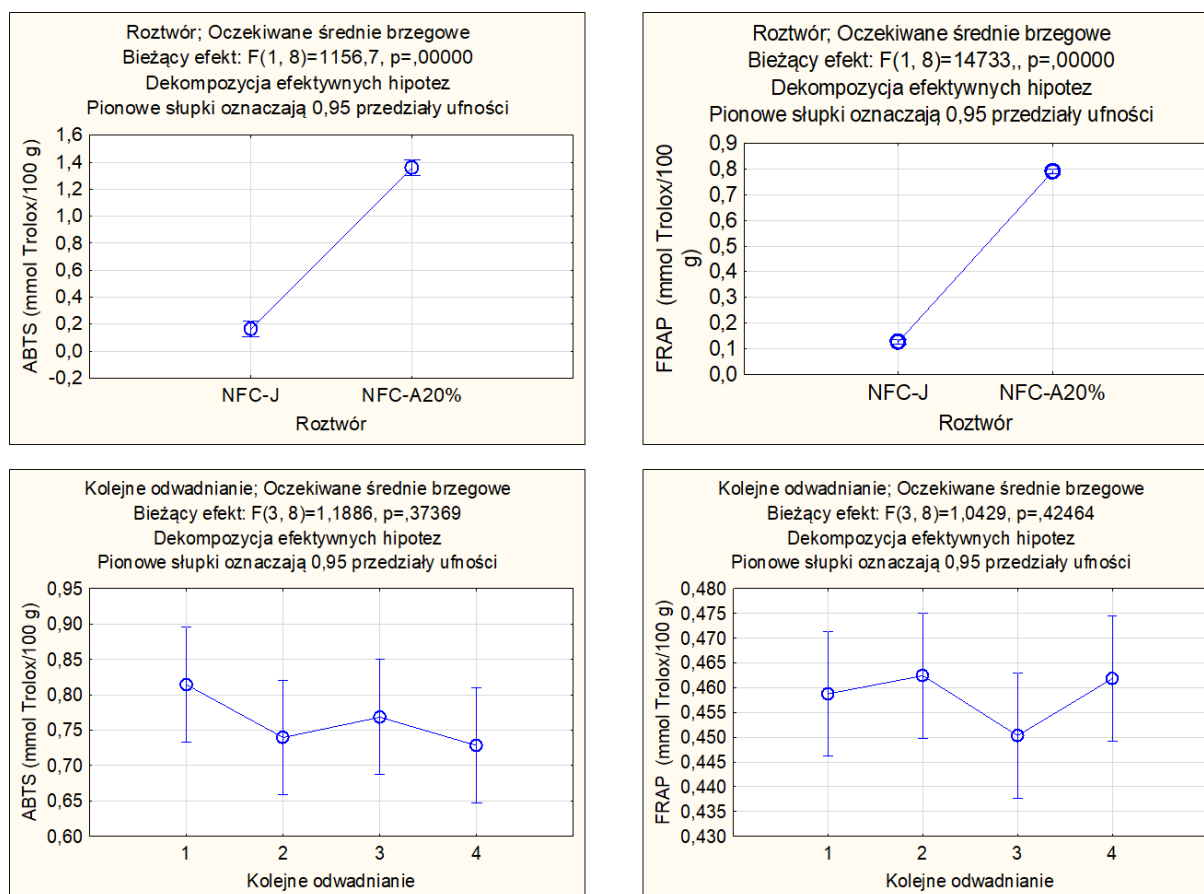
Rysunek 30. Wpływ kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAP dla roztworów osmotycznych.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że jedynie istotny statystycznie wpływ rodzaju roztworu na bioaktywność natomiast stosunkowo duże odchylenia standardowe spowodowały, że dla kolejnego odwadniania pomimo zauważalnej zmiany wartości średnich ten czynnik nie

był istotny statystycznie potwierdzając, że roztwór można ponownie wykorzystywać do procesu odwadniania osmotycznego (Tab. 18.).

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności			
	ABTS		FRAP	
	F	p	F	p
Wyraz wolny	1876,7	0,000	28131,3	0,000
Roztwór	1156,7	0,000	14732,7	0,000
Kolejne odwadnianie	1,2	0,374	1,0	0,425
Roztwór*Kolejne odwadnianie	1,3	0,336	1,1	0,394

Analizując średnie brzegowe badanych czynników kolejny proces odwadniania w przypadku soku z aronią posiada wyższą wartość ABTS i FRAP. Z kolei niezależnie dla badanego roztworu, średnie brzegowe ABTS i FRAP niewiele się zmieniają dla kolejnych cykli odwadniania (Rys. 31.).



Rysunek 31. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAP dla roztworów osmotycznych.

Zawartość związków fenolowych w roztworach przedstawiono w tabeli 19. W przypadku soku NFC-J zawartość kwasów fenolowych mieściła się w zakresie od 0,462 do 0,978 mg/100 g i



wzrastała z kolejnym cyklem odwadniania. Wzrost tego parametru można wyjaśnić wyciekami soków z krajanki jabłek, który wzbogacał odwadniany roztwór. Z kolei zawartość kwasów fenolowych z roztworze z dodatkiem soku aroniowego posiadał nawet 20 krotnie większą zawartość tych związków i w trakcie odwadniania to właśnie one wnikały do jabłek wzbogacając je o te związki natomiast zubażały roztwór z 20,762 do 17,134 mg/100g w ostatnim 4 cyklu odwadniania. Podobne tendencje zauważono w przypadku flawonoli, flawan-3-ole oraz polimerach procyanidyn. Odzwierciedla to sumaryczna zawartość związków fenolowych, które są znacznie większe dla soku NFC-A20%. Uzyskane wyniki potwierdzają, że roztwór nawet po 4 kolejnych procesach odwadniania osmotycznego posiada jeszcze dużo związków fenolowych i jest bardzo wartościowy i z powodzeniem może być wykorzystany do kolejnego cyklu odwadniania.

Przeprowadzona analiza statystyczna (Tab. 20 i 21) wykazała, że rodzaj roztworu i kolejne odwadnianie miały istotnie statystycznie wpływ na większość z badanych związków fenolowych poza stopniem polimeryzacji. Ponadto większe znaczenie na badane parametry miał zdecydowanie rodzaj roztworu. Oznacza to, że dodatek soku z aronii znacząco poprawia właściwości prozdrowotne roztworu osmotycznego, a jego wykorzystanie w procesach odwadniania osmotycznego znacząco podniesie jakość odwadnianego surowca.



Kolejne odwadnianie	Związki fenolowe (mg/100 g)								
	Kwasy fenolowe (chlorogenic acid*)	Flawanole (quercetin-3-O-glucoside*)	Dihydrochalkony	Flawan-3-ole - monomery i oligomery (epicatechin*)	Polimery procyanidyny	Stopień polimeryzacji (DP)	Suma związków fenolowych (g/100 g)		
				Phloretin-2'-O-glucoside (Phloridzin)					
				Phloretin-2'-O-xyloglucoside					
0	0,462±0,005	0,077±0,001	0,04±0,001	0,053±0,001	1,46±0,03	50±2	1,488±0,026	0,95±0,03	
1	0,674±0,006	0,077±0,001	0,079±0,002	0,052±0,001	1,38±0,03	992±2	1,048±0,026	0,99±0,03	



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”

2	0,764± 0,007	0,067± 0,001	0,1±0,00 2	0,059± 0,002	1,18±0, 02	1686±2	1,043 ±0,02 3	1,69± 0,02	
3	0,899± 0,008	0,073± 0,001	0,128±0, 003	0,08±0 ,002	1,52±0, 03	1762±2	1,042 ±0,02 9	1,76± 0,03	
4	0,978± 0,01	0,087± 0,001	0,147±0, 002	0,082± 0,002	7,65±0, 16	1945±3	1,043 ±0,15 7	1,95± 0,16	
0	20,762 ±0,186	5,362± 0,06	0,131±0, 002	0,072± 0,001	6,85±0, 17	3641±3	1,526 ±0,17 2	3,68± 0,17	
1	19,197 ±0,213	4,927± 0,063	0,138±0, 002	0,083± 0,002	6,72±0, 14	4214±3	1,391 ±0,14 2	4,25± 0,14	
2	18,791 ±0,289	4,764± 0,061	0,132±0, 003	0,079± 0,002	9,2±0,2 1	4509±3	1,316 ±0,20 9	4,55± 0,21	



Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Kwasy fenolowe		Flawanole		Phloretin-2'-O-xyloglucoside		Phloretin-2'-O-glucoside	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	56893,8	0,000	61454,9	0,000	41000,5	0,000	24199,6	0,000
Roztwór	47542,9	0,000	57509,6	0,000	2296,2	0,000	928,5	0,000
Kolejne odwadnianie	25,0	0,000	144,5	0,000	1098,2	0,000	547,0	0,000
Roztwór*Kolejne odwadnianie	40,7	0,000	152,7	0,000	241,5	0,000	233,5	0,000

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Flawan-3-ole		Polimery procyjanidyn		Stopień polimeryzacji		Suma związków fenolowych	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	11258,5	0,000	21778211	0,000	207,97	0,000	1486,3	0,000
Roztwór	4943,1	0,000	5241973	0,000	2,80	0,133	361,6	0,000
Kolejne odwadnianie	2755,5	0,000	98590	0,000	0,03	0,993	6,8	0,014
Roztwór*Kolejne odwadnianie	1119,6	0,000	9580	0,000	0,02	0,995	0,7	0,591



5.2.5. Analiza mikrobiologiczna jabłek i roztworów po kolejnym odwadnianiu

W tabeli 22 przedstawiono wyniki analizy mikrobiologicznej odwadnianych jabłek w kolejnych w roztworach osmotycznych wykorzystywanych kilkakrotnie do tego procesu. Nie stwierdzono drobnoustrojów: bakterii mlekowych, drożdży i pleśni w 1 g próbki suszu z jabłek. Natomiast ogólna liczba drobnoustrojów oznaczona na podłożu PCA, była zróżnicowana i kształtowała się na niskim poziomie od $1,05 \times 10^1$ do $2,59 \times 10^2$ jtk/g próby. Oznacza to, że przeprowadzanie procesu odwadniania osmotycznego z tym samym roztworze kilkakrotnie nie wpływa na bezpieczeństwo mikrobiologiczne suszonych jabłek.

Roztwór	Kolejne odwadnianie	PCA	MRS	YGC
		Jtk/g		
Kontrola		1,05E+01	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	1	1,55E+02	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	2	1,65E+01	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	3	2,59E+02	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	4	2,22E+02	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	1	1,41E+02	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	2	1,83E+02	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	3	1,28E+02	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	4	1,55E+02	0,00E+00	0,00E+00

W tabeli 23 przedstawiono wyniki analizy mikrobiologicznej roztworów osmotycznych po kolejnych odwadniania. W próbce NFCA20% dla ostatniego cyklu odwadniania (4 cykl łącznie 360 minut) stwierdzono obecność zarówno bakterii mlekowych jak i drożdży i pleśni na poziomie, odpowiednio $2,85 \times 10^2$ jtk/g i $2,95 \times 10^2$. Oznacza to, że wykorzystując kolejny raz roztwór osmotyczny należy szczególnie zwrócić uwagę na warunki mikrobiologiczne oraz zastosować między procesami odwadniania osmotycznego technologie pozwalającą na dezaktywację tych drobnoustrojów. Jednakże, należy stwierdzić, że pomimo obecności bakterii mlekowych jak i drożdży i pleśni w roztworze nie stwierdzono ich obecności w suszonych jabłkach, które prawdopodobnie w procesie suszenia zostały zdezaktywowane. Ogólna liczba drobnoustrojów oznaczana na podłożu PCA kształtowała się na poziomie od $2,00 \times 10^1$ w próbce do $3,70 \times 10^3$ jtk/g.



Tabela 14. Analiza mikrobiologiczna roztworów po kolejnym odwadnianiu

Roztwór	Kolejne odwadnianie	PCA	MRS	YGC
		Jtk/g		
NFC-J	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	2	6,00E+01	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	3	4,50E+01	0,00E+00	0,00E+00
NFC-J	4	3,70E+03	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	2	2,00E+01	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NFC-A20%	4	0,00E+00	2,85E+02	2,95E+02

5.3. Premium Chips – frytki

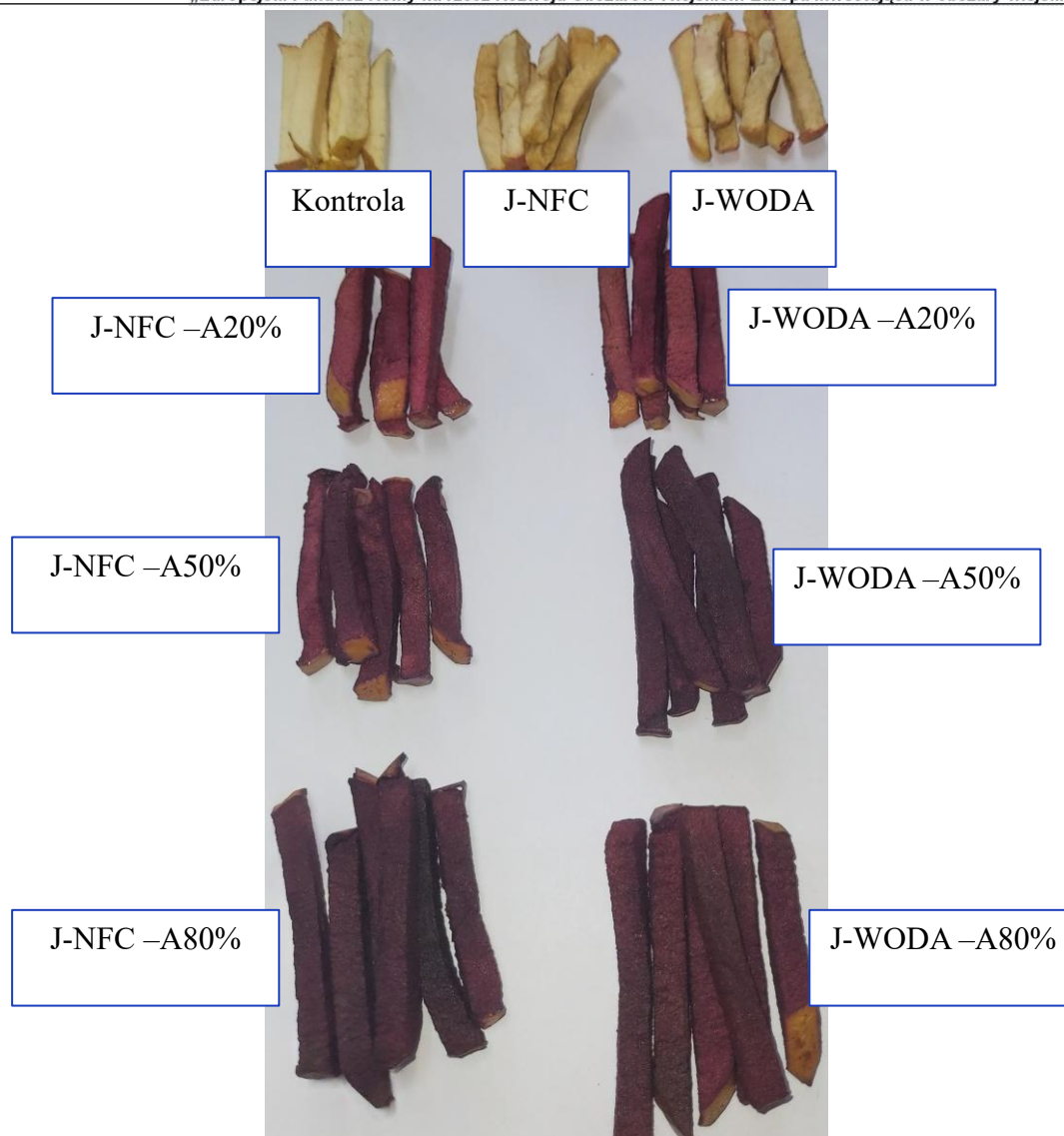
Opracowanie technologii produkcji chipsów premium z jabłek w kształcie frytek przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w skali półtechnicznej. Jabłka w kształcie frytek o przekroju 10x10 cm o masie 500 g (masa 1 próbki) odwadniano w roztworze o masie 1500 g w temperaturze 45°C przez 60 minut. Do badań wykorzystano 8 różnych roztworów, zagęszczony sok jabłkowy (PURENA) był rozładniany wodą (W) lub sokiem NFC (NFC) do stężenia początkowego około 40°Brix. Następnie do tego roztworu dodawano zagęszczony sok aroniowy (40°Brix) w różnych udziałach 0, 20, 50 i 80% (A0%, A20%, A50% i A80%). Próbką kontrolną były jabłka bez procesu odwadniania osmotycznego (Kontrola). Następnie próbki po procesie odwadniania osmotycznego suszono na sitach i suszono konwekcyjnie (CD) w temperaturze 60°C, prędkości przepływu powietrza 1,2 m/s przez 120 minut w suszarce konwekcyjnej w skali półtechnicznej YLD -88 (Chiny) (Rys. 3). Po suszeniu konwekcyjnym próbki następnie suszono mikrofalowo-próżniowo (VMD) w zakresie mocy od 1000 W do 400 W, przy ciśnieniu 20-70 kPa. Masa próbek w badaniu wynosiła 2000 g. Po wysuszeniu próbki były stabilizowane w warunkach obniżonego ciśnienia przez około 30 minut, a następnie pakowane w obecności azotu i przechowywane do dalszych badań dotyczących jakości otrzymanych chipsów premium.

Na rysunku 32 przedstawiono przykładowe etapy produkcji chipsów premium w kształcie frytek.



Rysunek 32. Przykładowe zdjęcia produkcji Chipsów Premium z jabłek w kształcie frytek.

Na rysunku 33 przedstawiono próbki suszonych jabłek w kształcie frytek w różnych roztworach osmotycznych. Próbka kontrolna bez procesu odwadniania ma barwę zbliżoną do miąższu jabłek, natomiast próbki odwadniane w zagęszczonym soku jabłkowym (J-W i J-NFC) mają barwę nieco ciemniejszą. Z kolei próbki odwadniane w roztworze osmotycznym z udziałem soku aroniowego znacząco zmieniły kolor miąższu na ciemno czerwony.

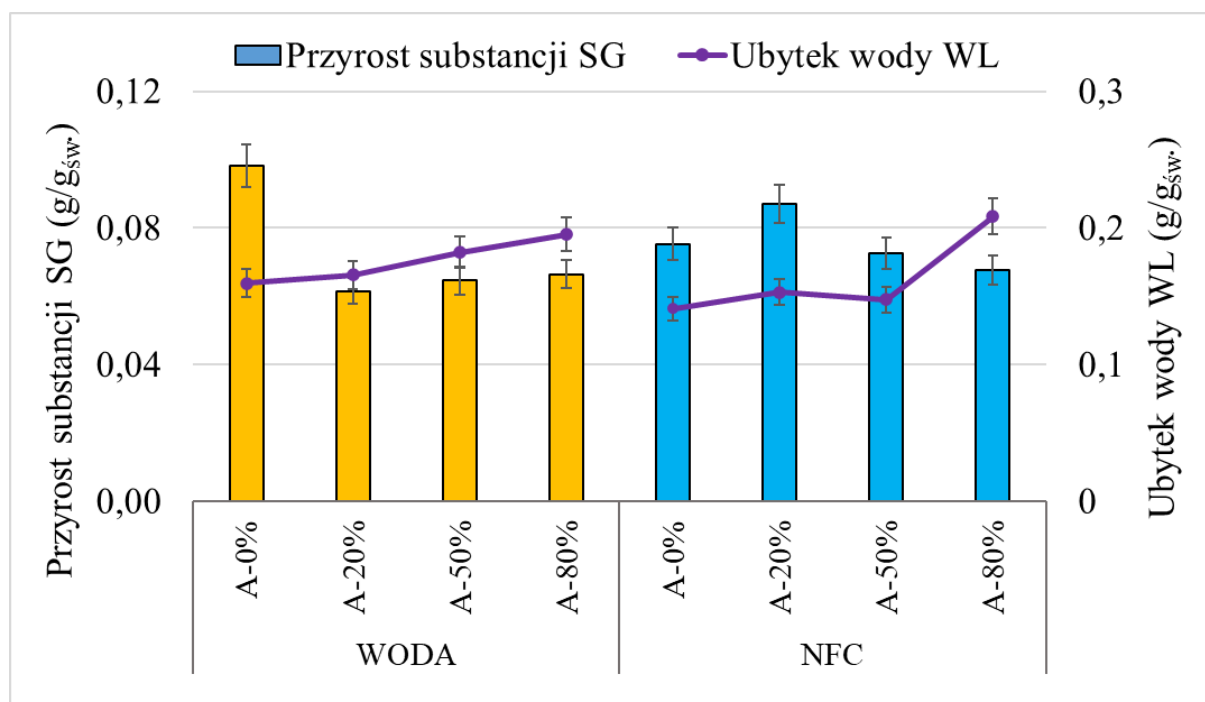


Rysunek 33. Chipsy Premium z jablek w kształcie frytek.

5.3.1. Odwadnianie osmotyczne – Premium Chips frytki

Wpływ rodzaju rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego w roztworze na przyrost substancji stałej (SG) i ubytek wody (WL) podczas odwadniania osmotycznego przedstawiono na rysunku 34. Przyrost substancji stałej podczas odwadniania osmotycznego kształtuje się na poziomie około 0,08 g/g świeżego surowca, jest to substancja z roztworu, która wnika do odwadnianego surowca w tym wypadku do jablek w kształcie frytek. Z kolei równoległym procesem, który zachodzi podczas odwadniania jest ubytek wody, który jest na poziomie 0,2 g/g świeżego surowca. Ubytek wody jest większy niż przyrost suchej substancji. W przypadku odwadniania osmotycznego w zagęszczonych sokach owocowych, zależy nam aby jak najwięcej substancji z roztworu wnikało do odwadnianego surowca, dzięki temu uzyskamy

nowy produkt o innowacyjnych właściwościach. Stwierdzono, że dodatek soku z aronii powoduje obniżenie SG i niewielki wzrost WL. Jest to związane z tym, że masa cząsteczkowa soku aroniowego jest mniejsza od masy cząsteczkowej soku jabłkowego, dlatego w konsekwencji wymiana masy się zmniejsza. W przypadku rodzaju rozpuszczalnika zauważono, że sok NFC spowodował obniżenie wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego, jest to związane z tym, że sok NFC posiada duże cząstki, które mogą utrudniać wnikanie substancji do odwadnianego surowca. Jednakże różnice są niewielkie i kluczowe znaczenie w wyborze rozpuszczalnika będzie miała analiza właściwości fizyko-chemicznych otrzymanych produktów.



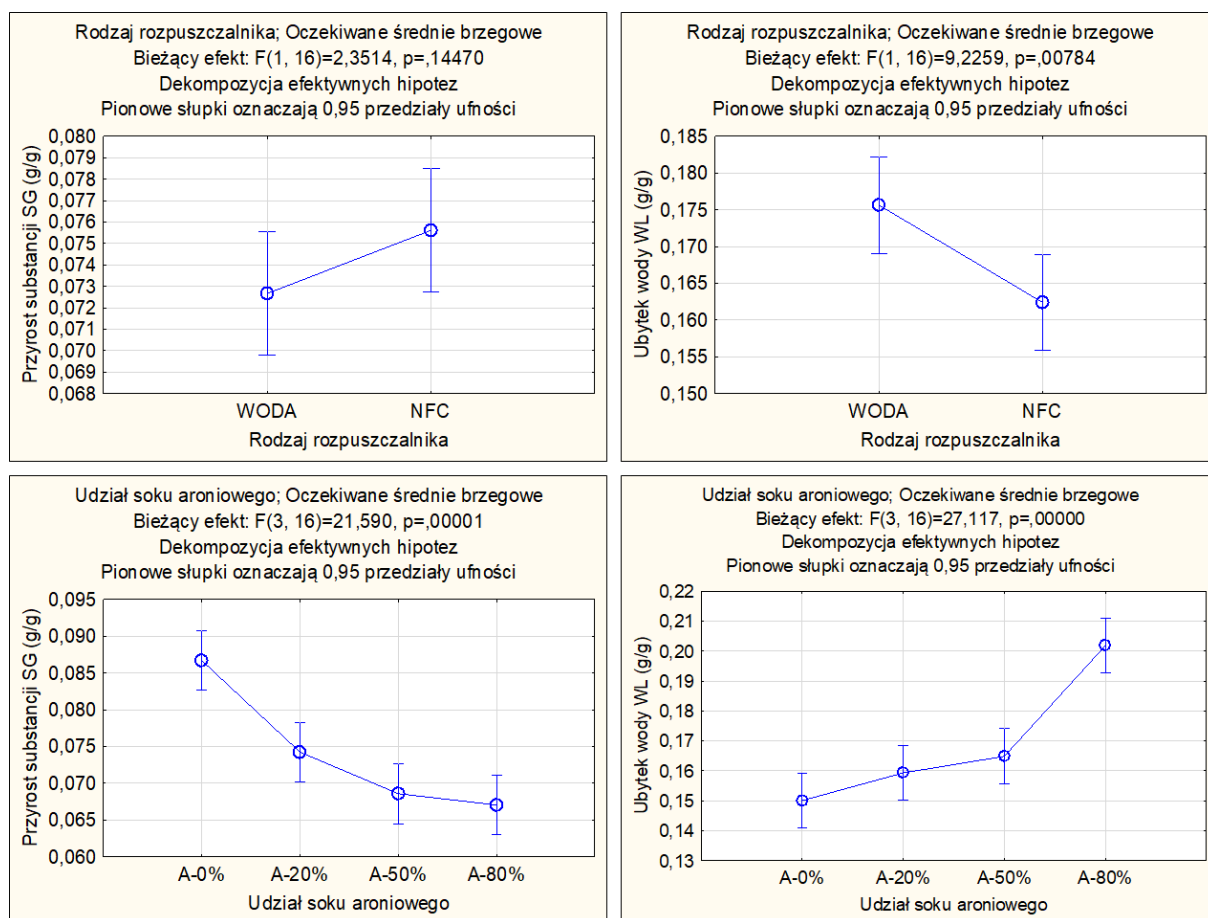
Rysunek 34. Przyrost substancji i ubytek wody dla jabłek w kształcie frytek.

W tabeli 24 przedstawiono analizę statystyczną wpływu rodzaju rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na SG i WL dla jabłek w kształcie frytek. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że rodzaj rozpuszczalnika nie miał istotnego statystycznie wpływu na WL, natomiast w przypadku SG istotny wpływ statystyczny miał zarówno rodzaj rozpuszczalnika oraz udział soku aroniowego w roztworze, z tym że znacznie większy wpływ miał udział soku aroniowego.

Tabela 15. Analiza statystyczna przyrostu substancji i ubytku wody dla jabłek w kształcie frytek

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności			
	WL (g/g surowca)		SG (g/g surowca)	
	F	p	F	p
Wyraz wolny	5954,4	0,0000	5997,0	0,0000
Rozpuszczalnik	2,4	0,1447	9,2	0,0078
Udział soku aroniowego	21,6	0,0000	27,1	0,0000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	27,2	0,0000	5,2	0,0109

Analizując średnie brzegowe stwierdzono, że SG był większy w przypadku roztworów rozważnianych sokiem NFC choć nie istotny statystycznie to już WL był istotnie mniejszy dla roztworu rozważnianego NFC. Jest to typowy przypadek dla procesów które zachodzą równolegle, że jeżeli jeden z procesów przyspiesza to jest to kosztem drugiego procesu. Identyczną tendencję zauważono również w przypadku udziału soku aroniowego w roztworze, gdy SG było największe to WL było najmniejsze.

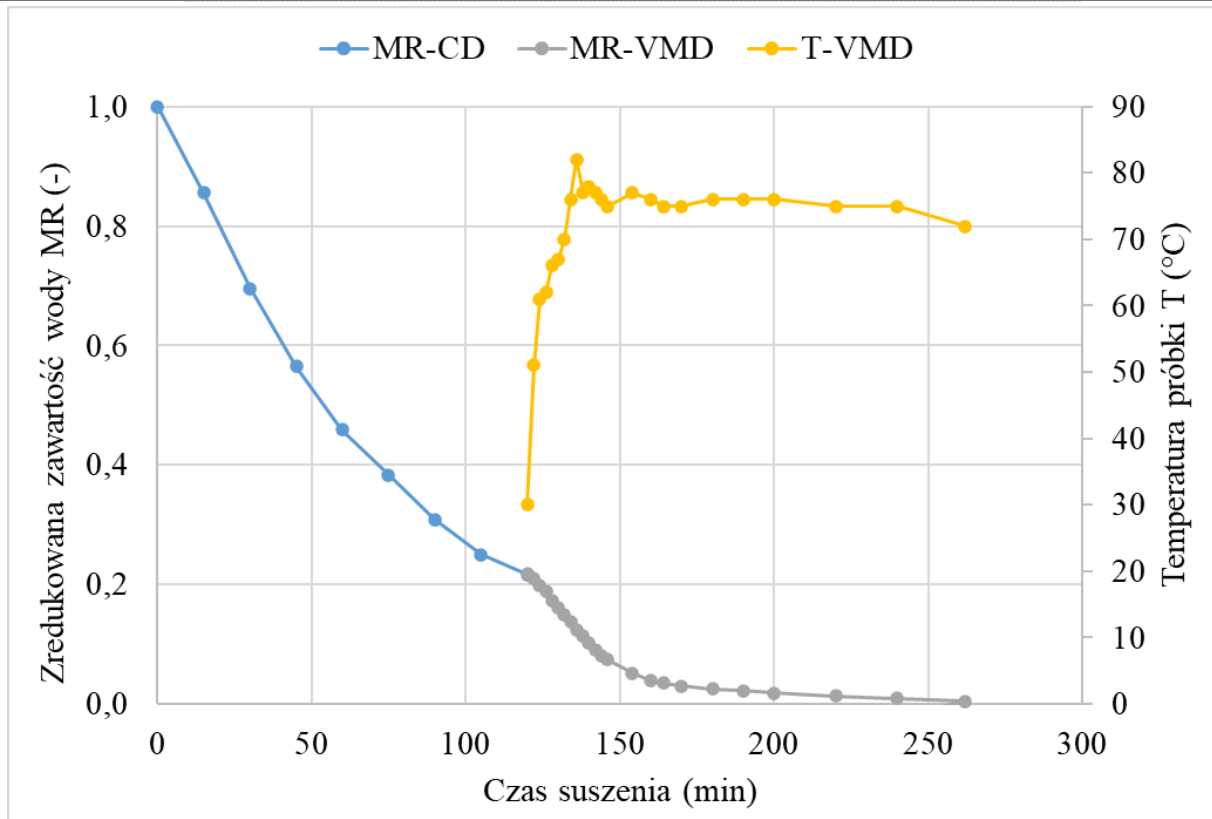


Rysunek 35. Analiza statystyczna przyrostu substancji i ubytku wody dla jabłek w kształcie frytek



5.3.2. *Kinetyka suszenia – Premium Chips frytki*

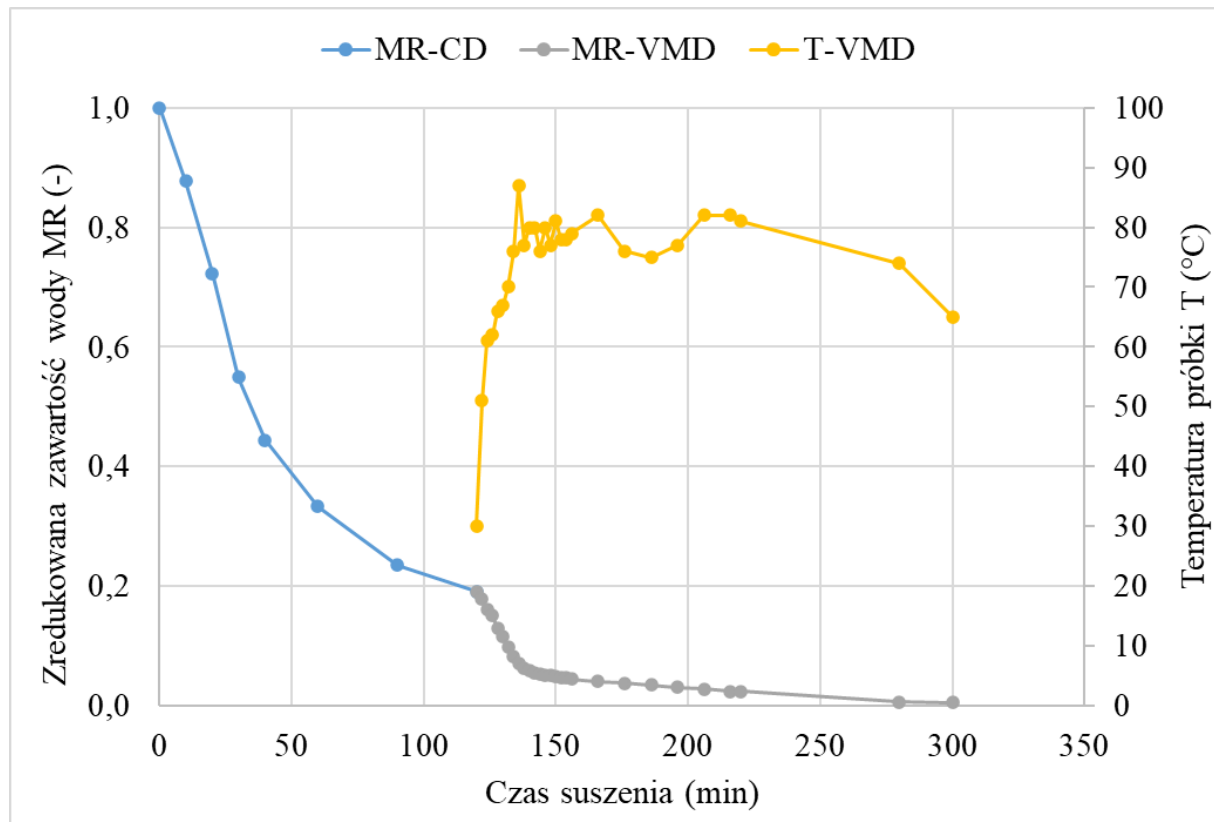
Kinetykę suszenia konwekcyjnego (CD) oraz mikrofalowo próżniowego (VMD) dla jabłek w kształcie frytek przedstawiono na rysunkach 36, 37 i 38. Na rysunku 36 przedstawiono kinetykę suszenia jabłek w kształcie frytek bez procesu odwadniania osmotycznego. Suszenie konwekcyjne trwało 120 minut wilgotność początkowa próbki wynosiła około 85 % wody i w trakcie tego suszenia wilgotność obniżyła się do około 57 % wody. Jeżeli proces byłby kontynuowany to przewidywany czas suszenia wynosił by kilkanaście godzin, dlatego w celu poprawy sprawności procesu suszenia wykorzystano suszenie mikrofalowo-próżniowe, które znacząco skróciło czas suszenia poprawiając efektywność tego procesu oraz nadało nowe cechy teksturalne dla suszonych jabłek. Podczas suszenia VMD zastosowana moc wynosiła 1000 W na początku procesu, gdy próbka nagrzała się powyżej 80°C moc mikrofal została zredukowana do 400 W (146 minuta suszenia), próbka miała wilgotność około 31 %. Po osiągnięciu przez próbkę wilgotności 17 % ponownie zredukowano moc mikrofal (164 minuta suszenia) zmniejszając dawkę energii w jednym cyklu suszenia do połowy dawki poprzedniej. Gdy próbka miała już wilgotność poniżej 13 % ponownie zredukowano dawkę energii mikrofal o połowę. Dzięki temu maksymalna temperatura nagrzania próbki nie przekroczyła 80°C co pozwoliło na zachowanie natywnych związków chemicznych w produkcie oraz ograniczenie tworzenia się produktów reakcji Maillarda i spalenia próbki. Po procesie suszenia próbka osiągnęła około 2 % wilgotności końcowej, typowej dla produktów typu chipsy. Całkowity czas suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego wyniósł 262 minuty.



Rysunek 36. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek bez odwadniania (frytki).

Na rysunku 37 przedstawiono przykładową kinetykę suszenia jabłek w kształcie frytek odwadnianych w roztworze rozładnianym sokiem NFC z dodatkiem 50 % soku aroniowego. Po procesie odwadniania osmotycznego próbka osiągnęła wilgotność około 75 % z 85 % w ciągu 60 minut odwadniania osmotycznego. Następnie w ciągu 2 godzin suszenia konwekcyjnego próbka uzyskała wilgotność 38 % i rozpoczęto proces suszenia mikrofalowo-próżniowego, który trwał łącznie 300 minut o 38 minut dłużej niż jabłka bez odwadniania osmotycznego. Substancja stała, która wnika do jabłek podczas odwadniania osmotycznego może utrudniać usuwanie wody podczas suszenia, ponadto próbka podczas suszenia VMD mocniej się nagrzewa, zwłaszcza pod koniec procesu dlatego należy kontrolować temperaturę nagrzania próbki i sterować ilością dostarczonej mocy. Okazuje się, że w próbce odwadnianej osmotycznie pierwsza redukcja mocy nastąpiło dopiero gdy próbka miała wilgotność 12 % do 400 W i po osiągnięciu 10 % zredukowano dawkę energii o połowę w jednym cyklu suszenia. Gdy próbka osiągnęła 8 % wilgotności konieczne było ponowne obniżenie dawki energii dostarczanej przez mikrofa. Ponieważ dyfuzja wody wewnątrz materiału wymaga czasu dostarczanie do niej zbyt dużej ilości energii może spowodować przegrzanie się próbki uzyskanie temperatury znacznie powyżej 100°C co w konsekwencji zniszczy próbkę. Dlatego tak

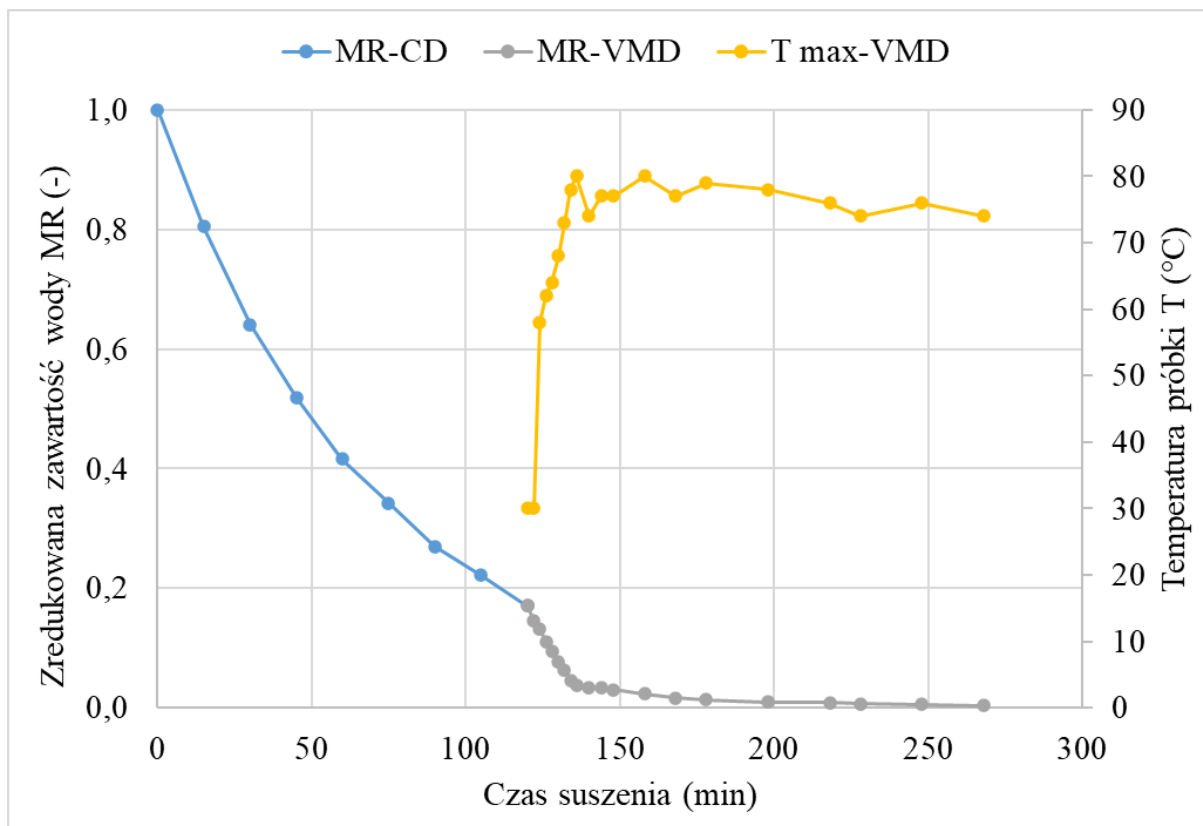
ważne jest monitorowanie temperatury próbki podczas suszenia VMD i regulacja ilości dostarczonej energii do produktu w postaci mikrofal.



Rysunek 37. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych J+NFC+A50% (frytki).

Na rysunku 38 przedstawiono przykładową kinetykę suszenia jabłek w kształcie frytek odwadnianych w roztworze rozważanym Wodą z dodatkiem 50 % soku aroniowego. Po procesie odwadniania osmotycznego próbka osiągnęła wilgotność około 77 % z 85 % w ciągu 60 minut odwadniania osmotycznego. Następnie w ciągu 2 godzin suszenia konwekcyjnego próbka uzyskała wilgotność 37 % i rozpoczęto proces suszenia mikrofalowo-próżniowego, który trwał łącznie 268 minut jedynie o 6 minut dłużej niż jabłka bez odwadniania osmotycznego. Okazuje się, że w próbce odwadnianej osmotycznie pierwsza redukcja mocy nastąpiło dopiero gdy próbka miała wilgotność 11 % do 400 W i po osiągnięciu 10 % zredukowano dawkę energii o połowę w jednym cyklu suszenia. Gdy próbka osiągnęła 8 % wilgotności konieczne było ponowne obniżenie dawki energii dostarczanej przez mikrofae. Warto zaznaczyć, że nie zależnie od rodzaju rozpuszczalnika nagrzewanie próbki wyglądało podobnie i redukcje mocy były konieczne przy niższych wilgotnościach niż w próbkach bez odwadniania. Jednakże rodzaj roztworu wpływa na kinetykę suszenia i jedynym rozwiązaniem

dotyczącym sterowania parametrami procesu jest monitorowanie temperatury nagrzania próbki.



Rysunek 38. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych J+Woda+A50% (frytki).

5.3.3. Model matematyczny – Premium Chips frytki

Kinetykę suszenia konwekcyjnego oraz mikrofalowo-próżniowego opisano modelem Page’a (Rów. 18-24). Współczynniki dopasowania R^2 dla wszystkich modeli znajdował się powyżej 0,94 oznacza to, że model bardzo dobrze opisywał punkty empiryczne dodatkowo potwierdzają to małe wartości współczynnika RMSE poniżej 0,0450.

$$CD \text{ bez OD}; \quad MR = 1 * e^{(-0,010*t^{1,06})}; \quad R^2 = 0,9987; \quad RSME = 0,0089 \quad (18)$$

$$VMD \text{ bez OD}; \quad MR = 0,224 * e^{(-0,028*t^{1,11})}; \quad R^2 = 0,9912; \quad RSME = 0,0065 \quad (19)$$

$$CD \text{ OD NFC}; \quad MR = 1 * e^{(-0,027*t^{0,89})}; \quad R^2 = 0,9717; \quad RSME = 0,0450 \quad (20)$$

$$VMD \text{ OD NFC}; \quad MR = 0,207 * e^{(-0,138*t^{0,67})}; \quad R^2 = 0,9410; \quad RSME = 0,0121 \quad (21)$$

$$CD \text{ OD W}; \quad MR = 1 * e^{(-0,015*t^{0,99})}; \quad R^2 = 0,9998; \quad RSME = 0,0040 \quad (22)$$

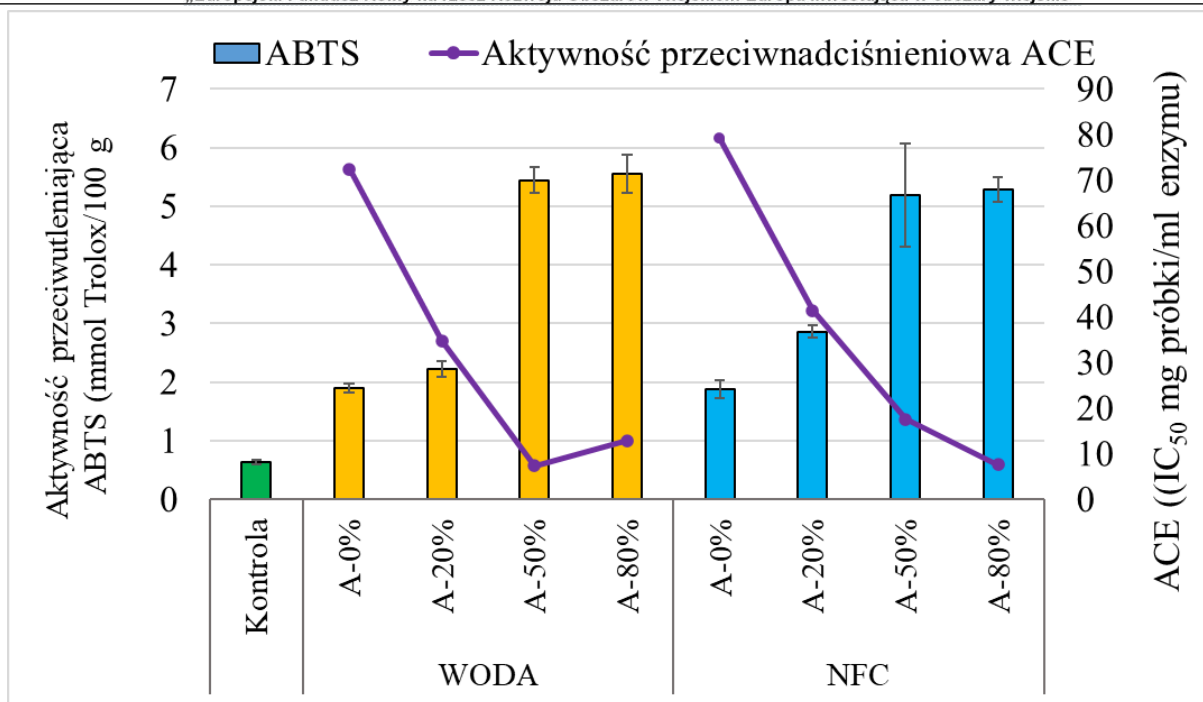
$$VMD \text{ OD W}; \quad MR = 0,177 * e^{(-0,112*t^{0,86})}; \quad R^2 = 0,9719; \quad RSME = 0,0084 \quad (21)$$



5.3.4. *Właściwości chemiczne – Premium Chips frytki*

Na rysunku 39 przedstawiono aktywność przeciwutleniającą ABTS i przeciwnadciśnieniową ACE w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek. Na podstawie wcześniejszych wyników zdecydowano o zwiększeniu udziału soku aroniowego w roztworze, który przyjęto na poziomie 50 i 80 %. Zwiększenie udziału soku aroniowego w roztworze do poziomu 50 % spowodowało znaczny wzrost aktywności przeciwutleniającej ABTS, był on prawie 10 krotnie większy niż aktywność ABTS w jabłkach bez odwadniania osmotycznego. Z kolei zwiększenie udziału soku do 80 % nie spowodowało kolejnego znaczącego wzrostu, próbki te osiągnęły podobne wartości. Jednakże może to niekorzystnie wpływać na smak chipsów, ponieważ zbyt duży udział smaku aroniowego jest niepożądany. Dlatego optymalnym udziałem soku aroniowego w roztworze jest 50 %. Niewielkie różnice występują dla prób rozwadnianych różnym rozpuszczalnikiem i miał on tu niewielki wpływ na badane wartości.

Interesującą część wyników stanowią badania dotyczące właściwości prozdrowotnych Chipsów Premium wyznaczonych w testach aktywność przeciwnadciśnieniowych jako aktywność inhibicji konwertazy angiotensyny (ACE). Wyniki dla inhibicji ACE podano w IC₅₀ - zatem im niższe wartości tym korzystniejsza, silniejsza aktywność. Możemy zauważyć, że próbki odwadniane w zagęszczonym soku jabłkowym bez udziału soku aroniowego (A0%) posiadały wysoką wartość ACE, natomiast wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego ta wartość spadała, dzięki temu można stwierdzić, że Chipsy Premium z wysoką aktywnością przeciwnadciśnieniową stają się dobrą alternatywą dla tradycyjnych przekąsek tj. smażone chipsy ziemniaczane oraz nieodwadniane chipsy owocowe czy warzywne. Uzasadnieniem dla wybranej analizy jest silna aktywność związków polifenolowych, szczególnie antocyjanów aronii w obniżaniu wysokiego ciśnienia tętniczego, które współwystępuje z cukrzycą i otyłością/nadwagą (zespół metaboliczny).



Rysunek 39. Aktywność przeciwutleniającą ABTS i przeciwnadciśnieniową ACE w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.

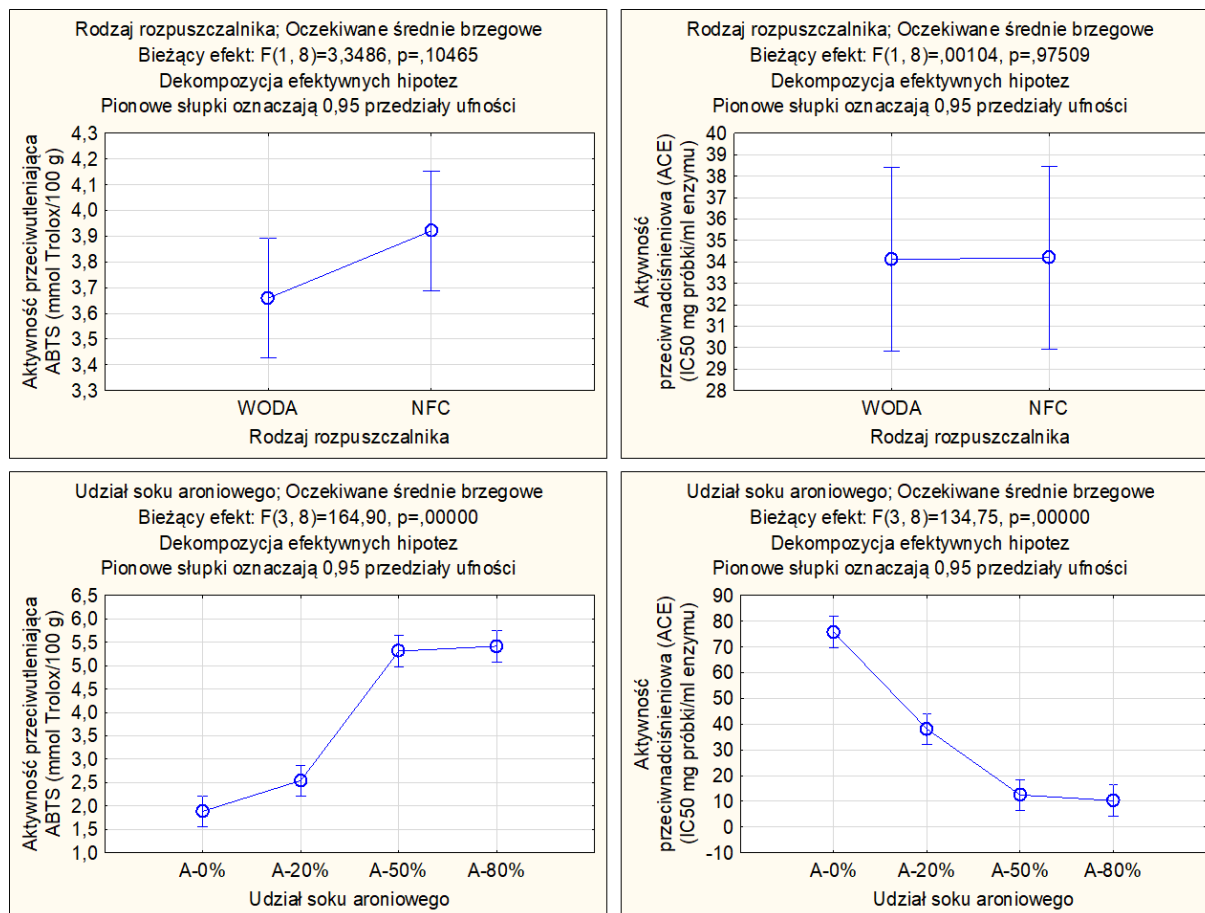
Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że rodzaj rozpuszczalnika nie miał istotnego wpływu na badane właściwości prozdrowotne chipsów, natomiast bardzo istotny wpływ miał udział soku aroniowego w odwadniany materiale (Tab. 25).

Tabela 16. Analiza statystyczna aktywności przeciwutleniającą ABTS i przeciwnadciśnieniowej ACE w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności			
	ABTS		ACE	
	F	p	F	p
Wyraz wolny	2804,0	0,000	677,2	0,000
Rozpuszczalnik	3,3	0,105	0,0	0,975
Udział soku aroniowego	164,9	0,000	134,8	0,000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	0,5	0,689	0,0	1,000

Analizując średnie brzegowe (Rys. 40) w przypadku ABTS zauważalna jest wyższa jego wartość dla jabłek odwadnianych w roztworach z sokiem NFC, choć jest on nieistotny statystycznie. Z kolei nie ma żadnych różnic między rodzajem rozpuszczalnika na właściwości przeciwnadciśnieniowe odwadnianych chipsów z jabłek. Wzrost udziału soku aroniowego w roztworach znacząco poprawiał właściwości przeciwutleniające oraz przeciwnadciśnieniowe,

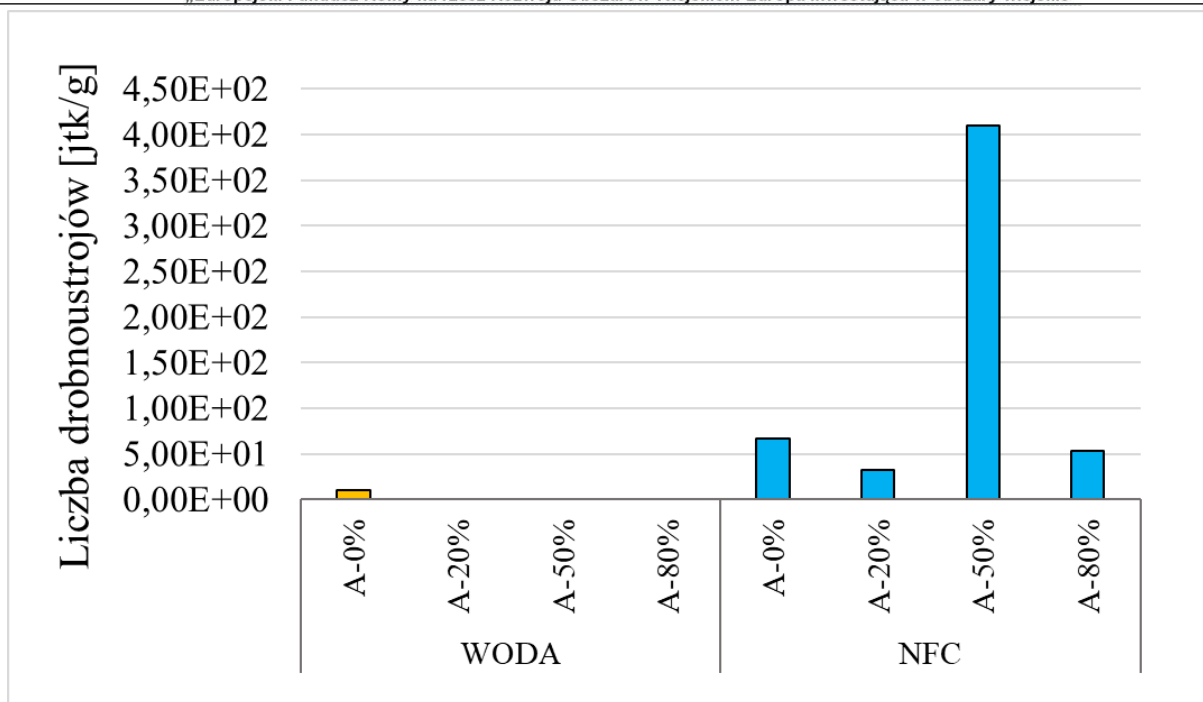
jednakże należy zaznaczyć, że wzrost udziału soku aroniowego z 50 do 80% nie poprawiał tych właściwości, dlatego optymalnym udziałem soku aroniowego w roztworze można uznać 50 %.



Rysunek 40. Analiza statystyczna aktywności przeciwtleniującą ABTS i przeciwnadciśnieniowej ACE w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.

5.3.5. Analiza mikrobiologiczna – Premium Chips frytki

Przeprowadzona analiza mikrobiologiczna chipsów z jabłek w kształcie frytek wykazała, że nie stwierdzono bakterii mlekowych, drożdży i pleśni w 1g próbki. Natomiast ogólna liczba drobnoustrojów oznaczona na podłożu PCA, była zróżnicowana i kształtowała się na niskim poziomie od 0 do $4,1 \times 10^2$ jtk/g próby (Rys. 41.). Okazuje się, że większa liczba drobnoustrojów występowała w chipsach suszonych w roztworach, które były rozwadniane przy użyciu soku NFC, prawdopodobnie jest to związane z technologią produkcji tego soku.

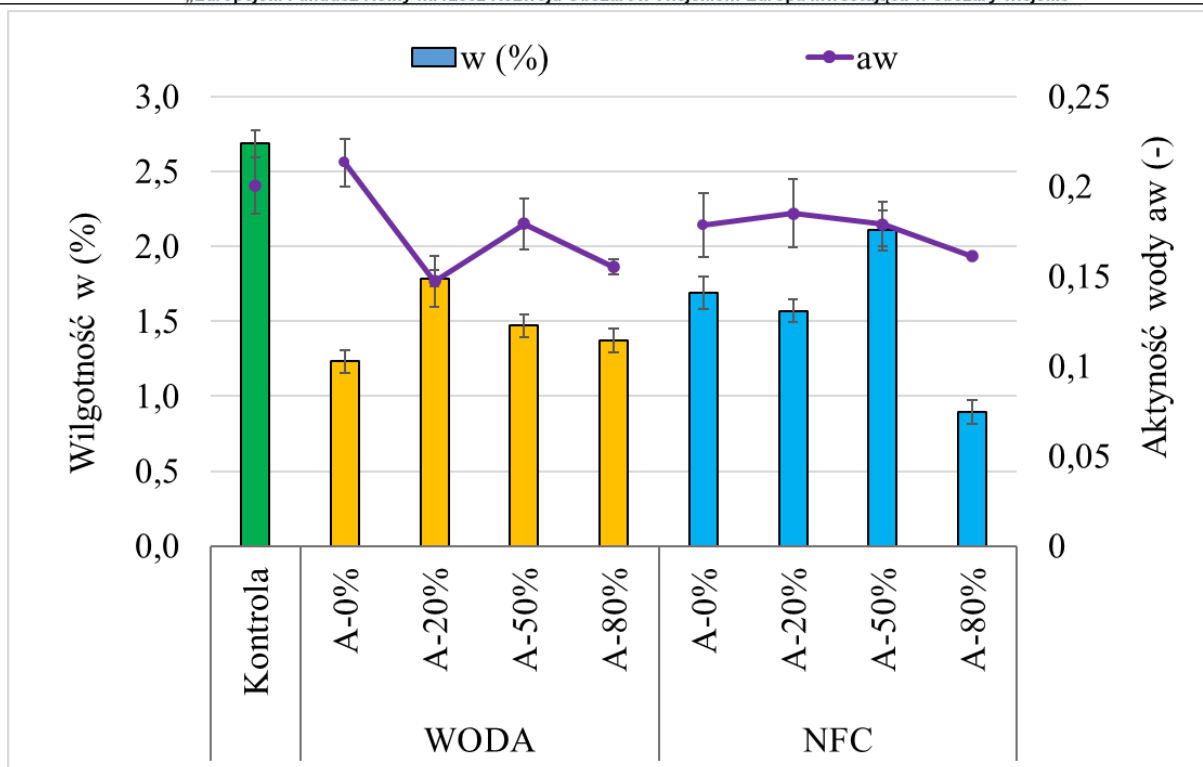


Rysunek 41. Analiza mikrobiologiczna w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.

5.3.6. Właściwości fizyczne chipsów – Premium Chips frytki

Wilgotność i aktywność wody

Na rysunku 42 przedstawiono wilgotność końcową oraz aktywność wody suszonych jabłek w kształcie frytek. Wilgotność końcowa wynosiła poniżej 3 % dla wszystkich badanych próbek, jest to typowa wartość dla suszu, który powinien posiadać cechy typowe dla chipsów. Wilgotność końcowa w głównej mierze zależy od czasu suszenia, jeżeli czas będzie wydłużony to próbki będą miały niższą wartość. Kolejnym badanym parametrem była aktywność wody (Rys. 42), jest to bardzo ważny parametr mówiący o bezpieczeństwie mikrobiologicznym produktu. Uznaje się, że próbki o aktywności poniżej 0,6 są bezpieczne mikrobiologicznie i żadne drobnoustroje nie będą się w nim rozwijać. Badane próbki uzyskały wartości aktywności wody poniżej 0,25, oznacza to, że są bezpieczne mikrobiologicznie.



Rysunek 42. Wilgotność i aktywność wody chipsów w kształcie frytek.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że rodzaj rozpuszczalnika nie miał wpływu na wilgotność i aktywność wody w badanych próbkach natomiast istotny statystycznie był wpływ udziału soku aroniowego w roztworze. Jednakże nie zauważono typowej zależności między udziałem soku aroniowego a badanymi parametrami.

Tabela 17. Analiza statystyczna wilgotność i aktywność wody chipsów w kształcie frytek.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności			
	w (%)		aw	
	F	p	F	p
Wyraz wolny	4702,7	0,000	2332,4	0,000
Rozpuszczalnik	5,1	0,054	0,1	0,771
Udział soku aroniowego	42,6	0,000	5,1	0,029
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	36,1	0,000	4,2	0,045

Gęstość i porowatość

Gęstości i porowatości chipsów z jabłek w kształcie frytek przedstawiono w tabeli 27. Gęstość właściwa w próbkach odwadnianych osmotycznie była nieco wyższa niż w próbce kontrolnej. Wartości gęstości mieściły się w zakresie od 1,445 g/cm³ do 1,561 g/cm³ i są to wartości typowe dla materiałów pochodzenia biologicznego, które są wysuszone. Gęstość piknometryczna jest to gęstość materiału wyznaczana przy użyciu piknomietru gazowego z wykorzystaniem argonu.



Pozwala na wyznaczenie porowatości otwartej i zamkniętej w badanych próbkach. Jeżeli pory w materiale są otwarte to gaz (argon) wniknie w te pory, co pozwoli określić objętość cząstki. Gęstość piknometryczna mieściła się w zakresie od $0,459 \text{ g/cm}^3$ do $0,94 \text{ g/cm}^3$, im wyższa wartość tej gęstości tym próbka będzie posiadać więcej porów otwartych niż zamkniętych. Kolejnym parametrem, który wyznaczano była gęstość pozorna, którą również wykorzystano do obliczeń porowatości. Natomiast jest to bardzo istotny parametr, który mówi nam jakie cechy posiada surowiec. Z punktu widzenia produktu oraz jego sprzedaży to im mniejsza jest jego wartość to produkt posiada małą masę a zajmuje dużą objętość i jest to cecha pozytywna.

Chipsy Premium posiadają bardzo dużą porowatość całkowitą znajdującą się w przedziale od 69,26 % do 82,95 % jest to wynikiem suszenia mikrofalowo-próżniowego, dzięki temu próbki posiadają atrakcyjną teksturę i wewnętrzną strukturę typową dla chipsów smażonych. Takich cech nie da się uzyskać przy użyciu klasycznych metod suszenia. Wyniki wielu badań wykazują, że im więcej w produktach jest porów zamkniętych tym te produkty charakteryzują się większymi właściwościami prozdrowotnymi, ponieważ związki te są w nich zamknięte i pozostają w produkcie podczas procesu suszenia. Próbki odwadniane w soku NFC charakteryzowały się większą ilością porów zamkniętych jest to związane z tym, że duże cząsteczki soku NFC uszczelniały pory wewnątrz materiału.

Przeprowadzona analiza statystyczna (Tab. 28) wykazała, że dla wszystkich badanych parametrów zarówno rodzaj rozpuszczalnika oraz udział soku aroniowego miały istotny statystycznie wpływ. W przypadku gęstości właściwej, gęstości piknometrycznej oraz porowatości zamkniętej większy wpływ miał udział soku aroniowego w przypadku pozostałych parametrów większy wpływ miał rodzaj rozpuszczalnika. w przypadku gęstości piknometrycznej siła istotności (F) dla udziału soku aroniowego była bardzo duża, zauważono, że dla próbek odwadnianych w roztworze rozważanym wodą wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego gęstość piknometryczna wzrastała, natomiast dla rozważanych sokiem NFC malała (Tab. 27).

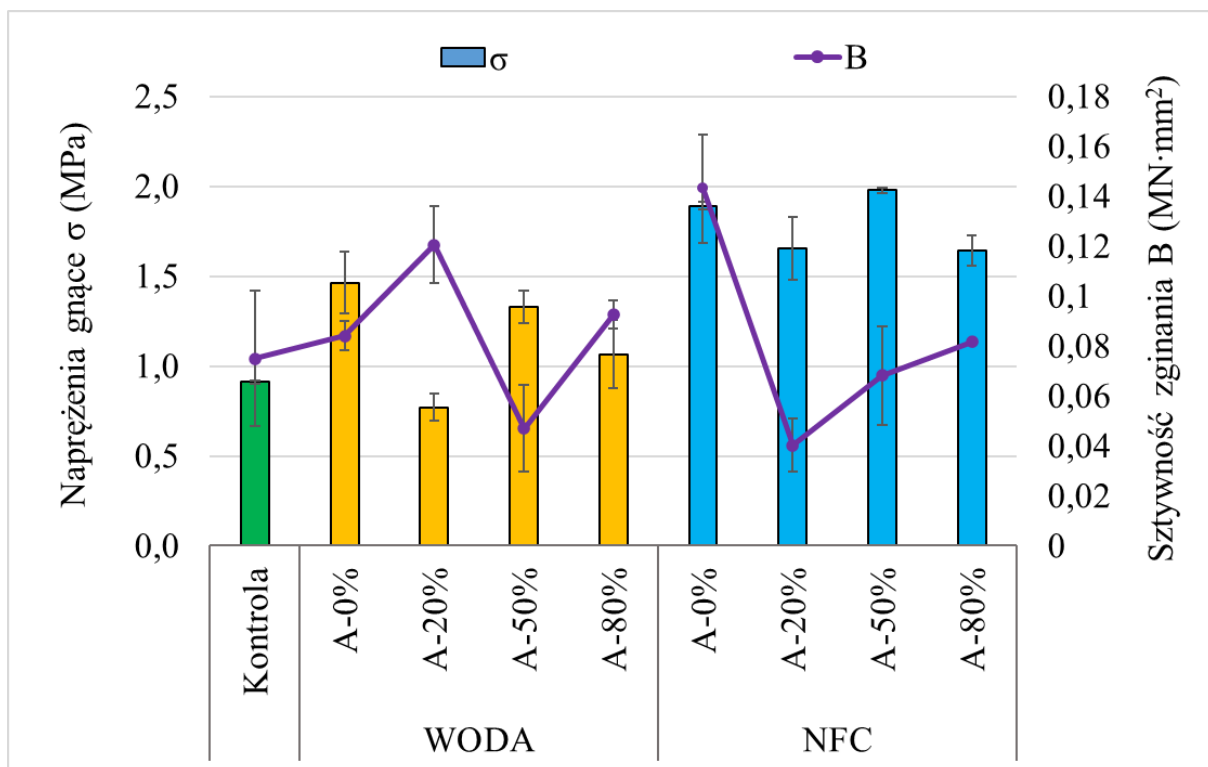


Tabela 18. Analiza statystyczna właściwości fizyczne chipsów z jabłek w kształcie frytek.

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności											
	Gęstość właściwa (g/cm ³)		Gęstość piknometryczna (g/cm ³)		Gęstość pozorna (g/cm ³)		Porowatość całkowita (%)		Porowatość otwarta (%)		Porowatość zamknięta (%)	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	117335,9	0,000	529549,8	0,000	8440,891	0,000	119951,0	0,000	3028,3	0,000	5914,5	0,000
Rozpuszczalnik	6,9	0,031	70,0	0,000	79,731	0,000	86,8	0,000	134,2	0,000	143,4	0,000
Udział soku aroniowego	13,0	0,002	11373,3	0,000	67,564	0,000	68,5	0,000	87,1	0,000	160,0	0,000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	2,9	0,102	2068,2	0,000	72,986	0,000	88,9	0,000	99,9	0,000	100,5	0,000

Właściwości mechaniczne

Na rysunku 43 przedstawiono właściwości mechaniczne chipsów z jabłek w kształcie frytek wyznaczone w teście zginania. Zmierzono naprężenia gnące (σ) oraz sztywność zginania (B). Próbką kontrolną charakteryzowała się najmniejszą wartością naprężeni gnących, oznacza to, że jej wytrzymałość jest najmniejsza w przypadku chipsów to cecha pozytywna. Jednakże zbyt mała wytrzymałość może powodować duże straty podczas procesu produkcji oraz podczas transportu produktu, który może ulec zniszczeniu i utracić swoje cechy typowe dla chipsów. Z kolei zbyt duża wytrzymałość może powodować trudności z gryzieniem. Zdecydowanie roztwór osmotyczny powoduje wzrost wytrzymałości produktu zwłaszcza dla próbek odwadnianych w roztworze rozcieńczonym sokiem NFC. Częstki które wniknęły podczas odwadniania osmotycznego spowodowały, że struktura frytki jest znacznie wytrzymalsza. Natomiast sztywność zginania to cecha materiału, która mówi nam jak bardzo podatna jest próbka na zginanie, im wyższa wartość tym trudniej próbkę zginać.



Rysunek 43. Właściwości mechaniczne chipsów z jabłek w kształcie frytek.

Przeprowadzona analiza statystyczna właściwości mechanicznych chipsów z jabłek w kształcie frytek wykazała, że rodzaj rozpuszczalnika wpływał bardziej na naprężenia gnące niż udział soku aroniowego, natomiast w przypadku sztywności zginania rodzaj rozpuszczalnika nie miał istotnego wpływu (Tab. 29).



Efekt	Jednowymiarowe testy istotności			
	Napężenia gnące σ (MPa)		Sztywność zginania B (MN·mm ²)	
	F	p	F	p
Wyraz wolny	2379,7	0,000	397,59	0,000
Rozpuszczalnik	109,5	0,000	0,11	0,754
Udział soku aroniowego	14,3	0,001	7,35	0,011
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	2,5	0,138	12,10	0,002

Parametry barwy

W tabeli 30 przedstawiono parametry barwy miąższu chipsów z jabłek w kształcie frytek. Jako wzorzec wybrano miąższ świeżego jabłka, którego parametry wyniosły $L^*=81,4$, $a^*=-4,3$ oraz $b^*=19,7$. Próbkę kontrolną w procesie suszenia zmienia nieznacznie swoją barwę ($dE^*=6,7$), natomiast próbki odwadniane w zagęszczonych sokach z dodatkiem aronii znacząco zmieniły parametry barwy. Roztwór osmotyczny rozwadniany sokiem NFC wpływał na większą zmianę barwy niż roztwór rozwadniany wodą. Wzrost udziału soku aroniowego powodował, że próbki robiły się ciemniejsze oraz zwiększał się parametr a^* czyli próbka robiła się czerwienista.

Tabela 19. Parametry barwy chipsów z jabłek w kształcie frytek.

Rodzaj rozpuszczalnika	Udział soku aroniowego	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$	$dE^*ab(D65)$
Świeże jabłko		81,4±0,1	-4,3±0,1	19,7±0,2	
Kontrola		85,9±3,1	-3,9±0,5	23,9±0,8	6,7±2,1
WODA	A-0%	77,6±2,1	1,3±0,6	23,4±1,7	8±1,3
	A-20%	34,6±1,8	29,9±3	4,4±1,4	60±0,9
	A-50%	27,1±2,7	16,2±4,9	-2,4±1,5	62,1±1,4
	A-80%	31,8±1,8	25,4±3,2	1,1±1,4	60,7±0,8
NFC	A-0%	71,9±7	1,8±0,6	27,7±4,6	15,3±2,9
	A-20%	41,2±6,3	31,2±5,4	6,2±2,4	55,5±5,1
	A-50%	31±3,1	24,8±3,6	0,7±1,8	61,3±1,3
	A-80%	29,2±0,8	18,4±0,6	-1,4±0,5	60,6±0,7



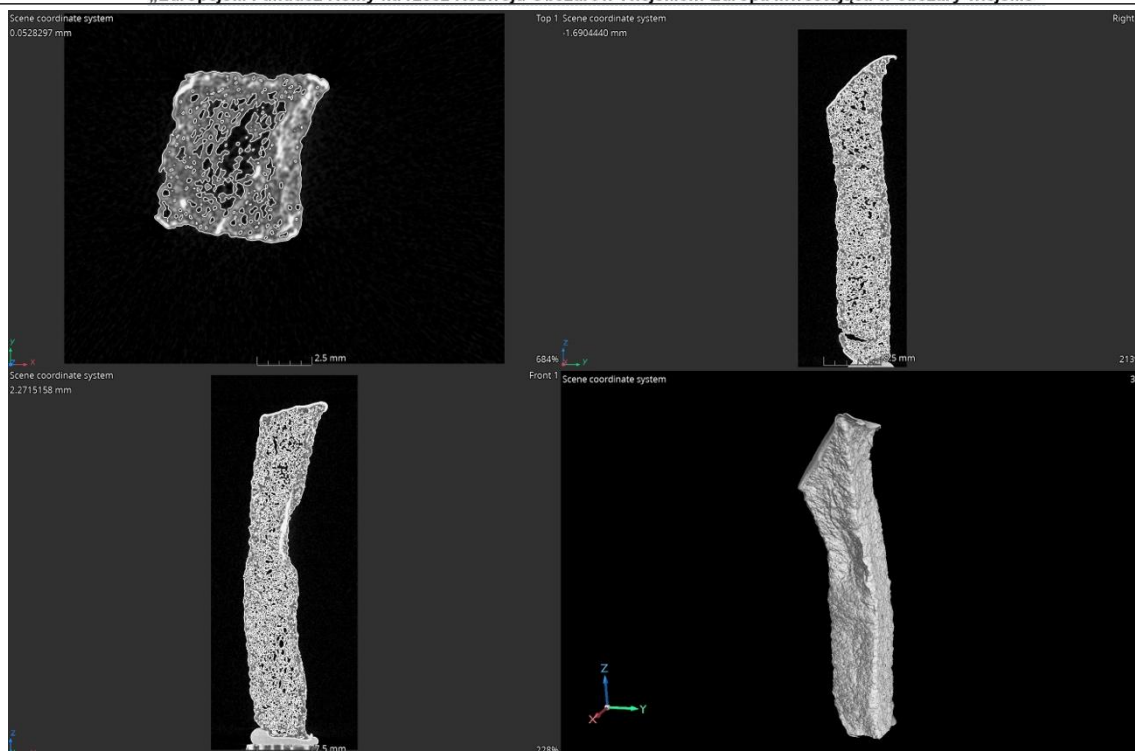
Przeprowadzona analiza statystyczna chipsów z jabłek w kształcie frytek wykazała, że rozpuszczalnik nie ma istotnego wpływu na wszystkie badane parametry barwy. Z kolei istotny statystycznie wpływ miał udział soku aroniowego w roztworze. Dzięki zastosowaniu odwadniania osmotycznego można znacząco modyfikować barwę jabłek i dzięki temu można przykryć drobne wady, które mogą pojawić się na surowcu.

Tabela 20. Analiza statystyczna parametrów barwy chipsów z jabłek w kształcie frytek.

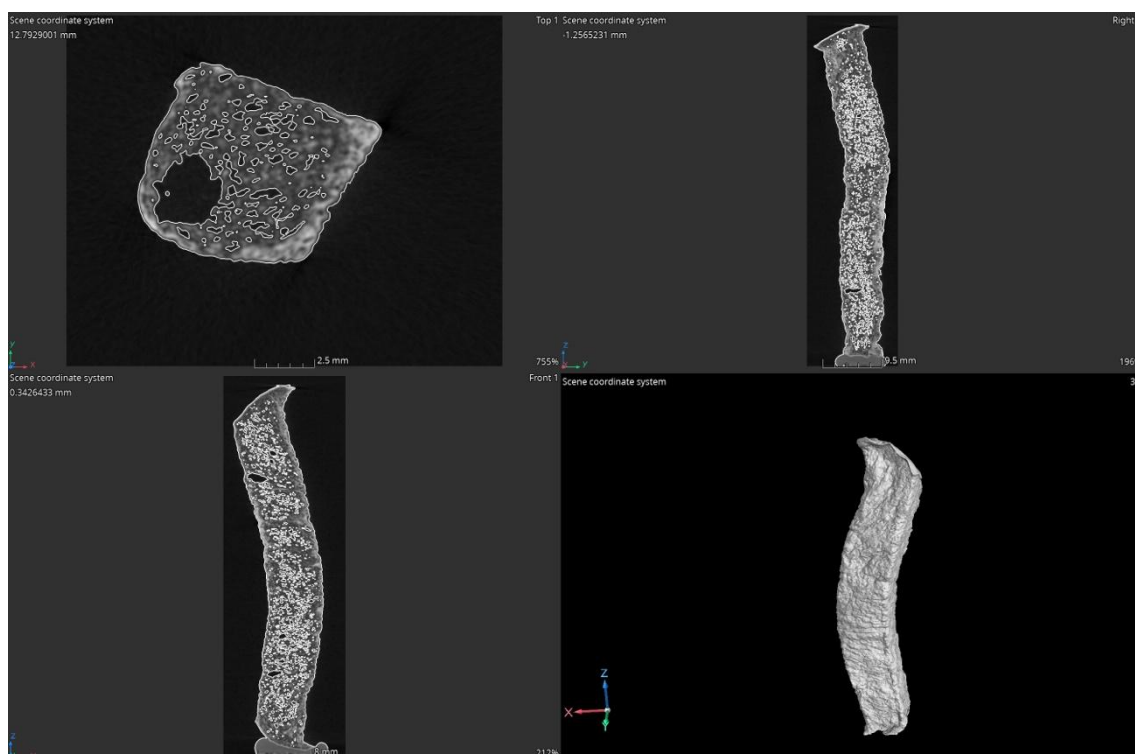
Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	L*(D65)		a*(D65)		b*(D65)		dE*ab(D65)	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	3041,9	0,000	767,1	0,000	266,2	0,000	10489,9	0,000
Rozpuszczalnik	0,1	0,721	0,4	0,524	3,4	0,084	0,2	0,627
Udział soku aroniowego	189,3	0,000	82,4	0,000	183,2	0,000	669,8	0,000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	3,3	0,047	5,6	0,008	2,6	0,087	6,9	0,003

Mikrotomografia komputerowa

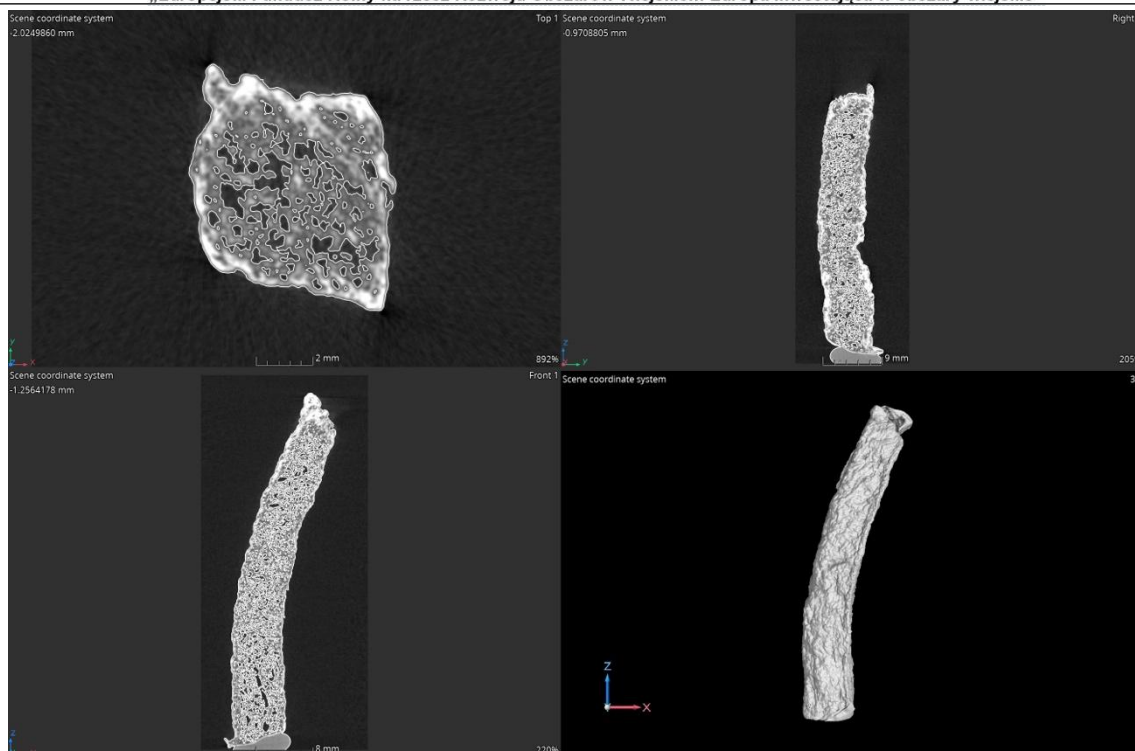
Na rysunku 44 przedstawiono zdjęcia z tomografu komputerowego dla próbek w kształcie frytek poddanych odwadnianiu osmotycznemu i suszeniu. Analiza obrazu wykazała, że próbka kontrolna bez odwadniania osmotycznego przed suszeniem miała największy skurcz i bardziej zwartą strukturę wewnętrzną w porównaniu do próbek odwadnianych osmotycznie. Ponadto, pozostałe próbki wykazały dość jednorodną strukturę wewnętrzną, z równomiernym rozłożeniem niewielkich porów w całej objętości. Dodatkowo, w większości próbek poddanych OD można zauważyć pojedyncze większe pory, które jednak ze względu na swój charakter mogą wynikać z naturalnych ubytków w materiale. Jedynie w próbce poddanej OD w soku jabłkowym z sokiem NFC i 20% udziałem aronii (Rys. 47) można zauważyć zmianę struktury wewnętrznej charakterystyczną dla puffingu powstałego w wyniku działania mikrofal oraz obniżonego ciśnienia w trakcie dosuszania mikrofalowo-próżniowego. Próbki poddane odwadnianiu zarówno rozcieńczane wodą jak i sokiem NFC z dodatkiem 80% soku z aronii (Rys. 49 i 52) wykazały bardziej zwartą strukturę wewnętrzną w porównaniu do pozostałych wariantów, co można wytłumaczyć zatykaniem powierzchni materiału sokiem, co prowadziło do utrudnienia usuwania wody w trakcie suszenia i nieco większego skurczu.



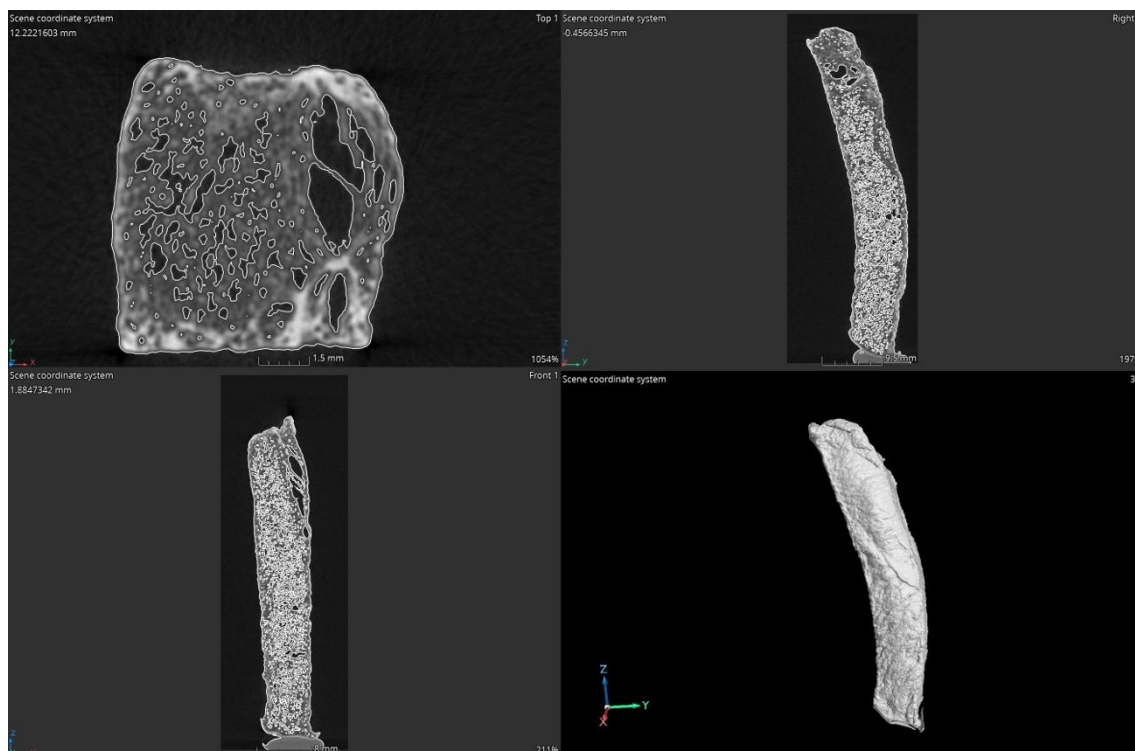
Rysunek 44. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek -kontrola.



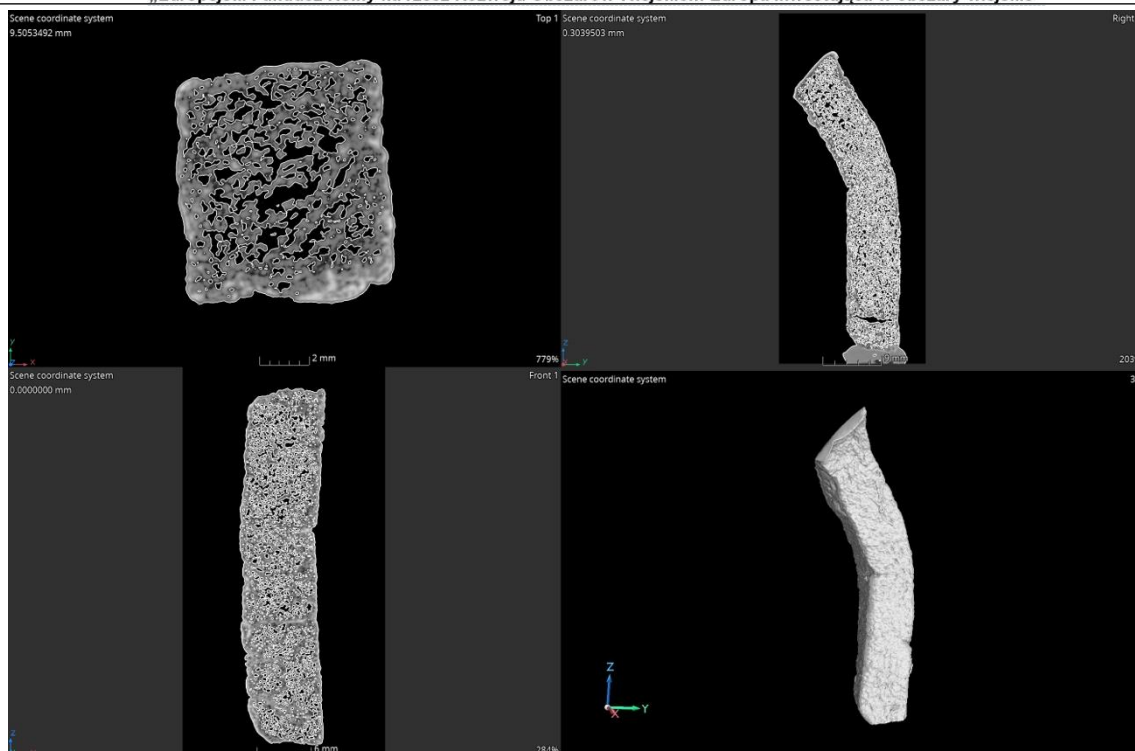
Rysunek 45. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-0%.



Rysunek 46. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-0%.



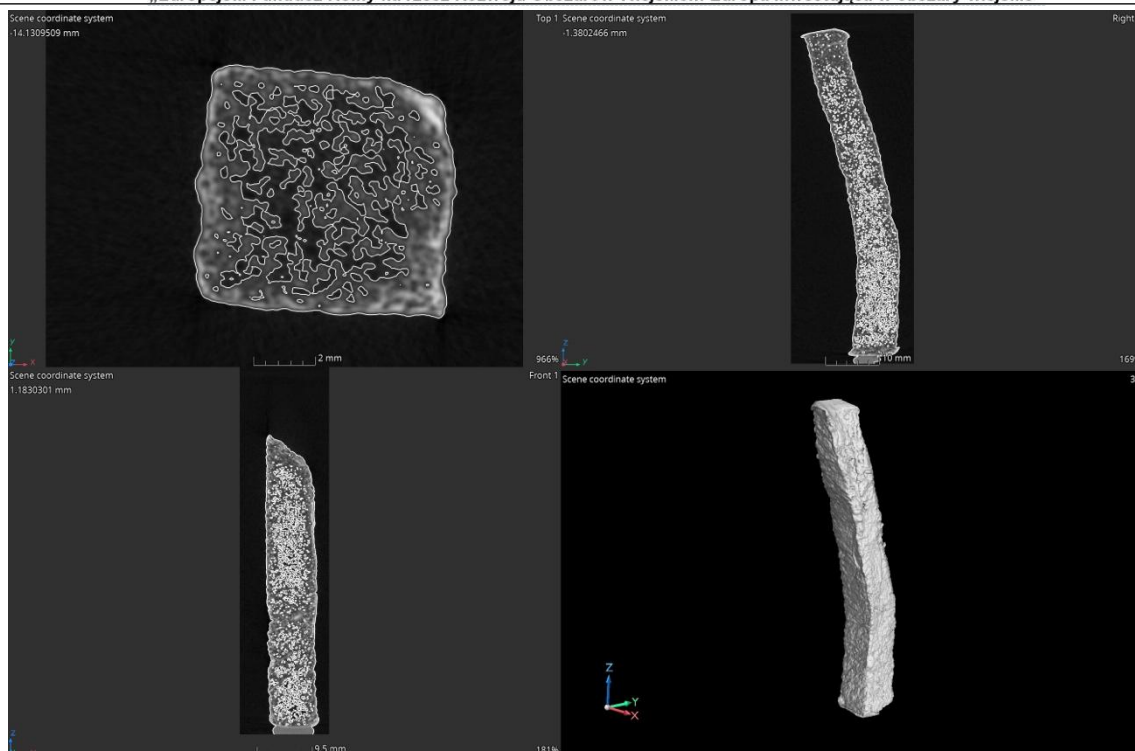
Rysunek 47. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-20%.



Rysunek 48. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-50%.



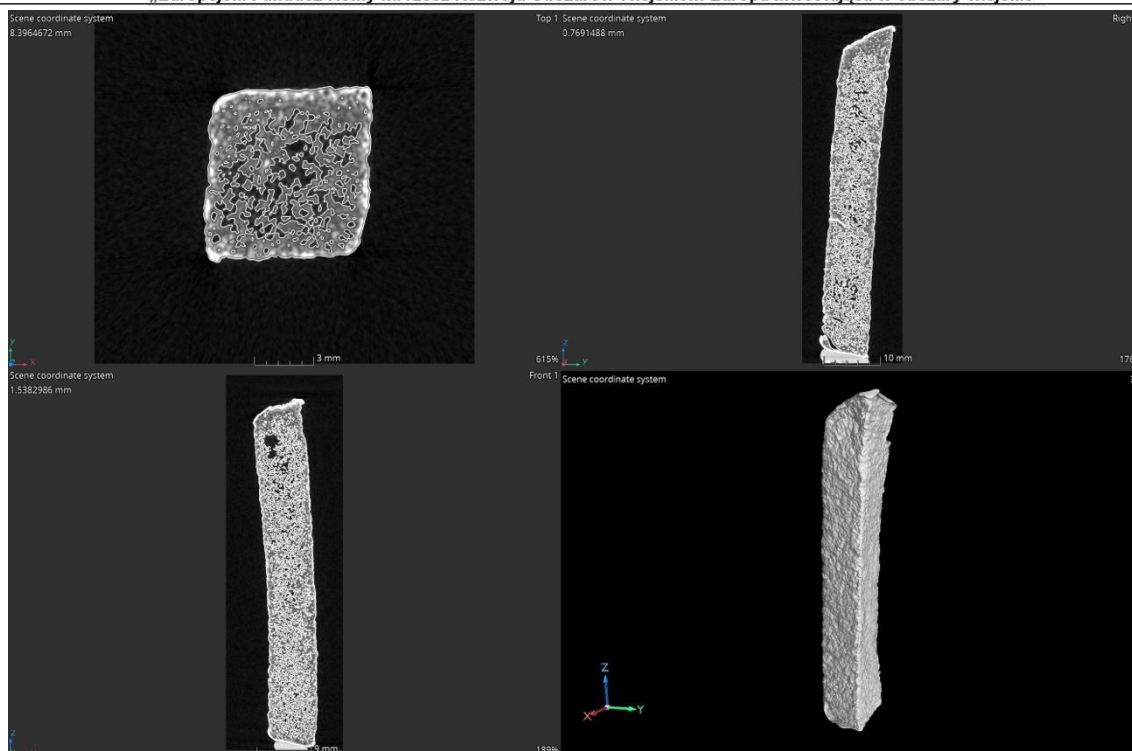
Rysunek 49. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-80%.



Rysunek 50. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-20%.



Rysunek 51. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-50%.



Rysunek 52. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-80%.

Analiza struktury wewnętrznej

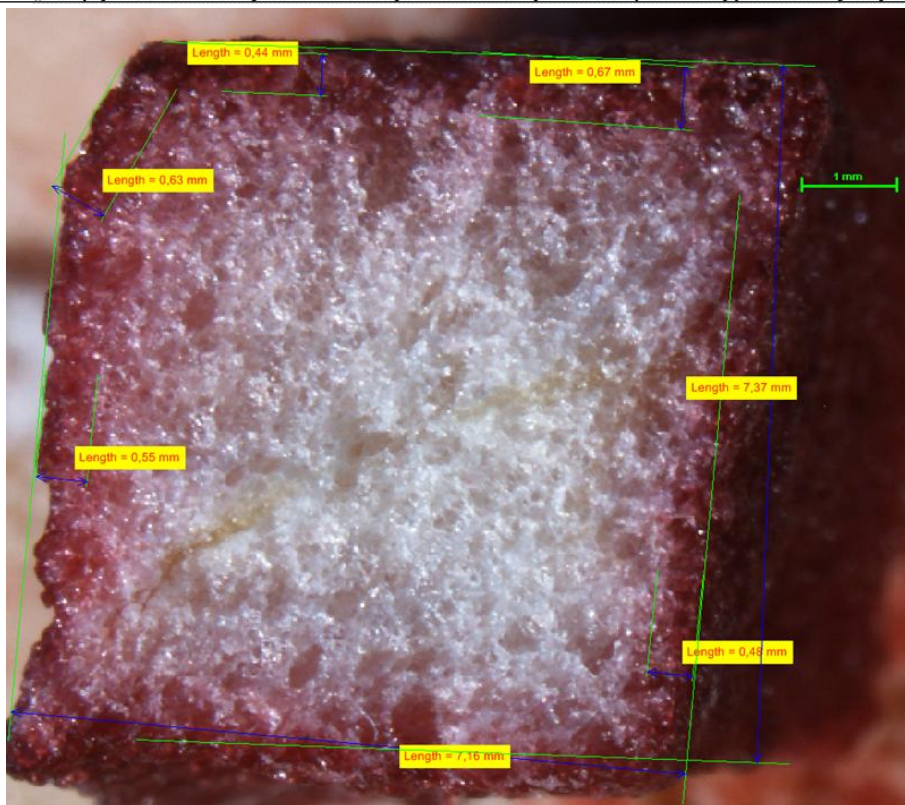
Na rysunku 53 przedstawiono zdjęcie z mikroskopu optycznego przekroju chipsów w kształcie frytek bez odwadniania (po prawej) i odwadnianych w soku bez udziału aronii (po lewej). Struktura komórkowa w procesie suszenia uległa zniszczeniu wytworzyły się pory, które powstały w skutek intensywnego odparowywania wody podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego. Dodatkowo na zdjęciu po lewej stronie można zauważyć, że próbka po zewnętrznych stronach jest oblepiona roztworem.



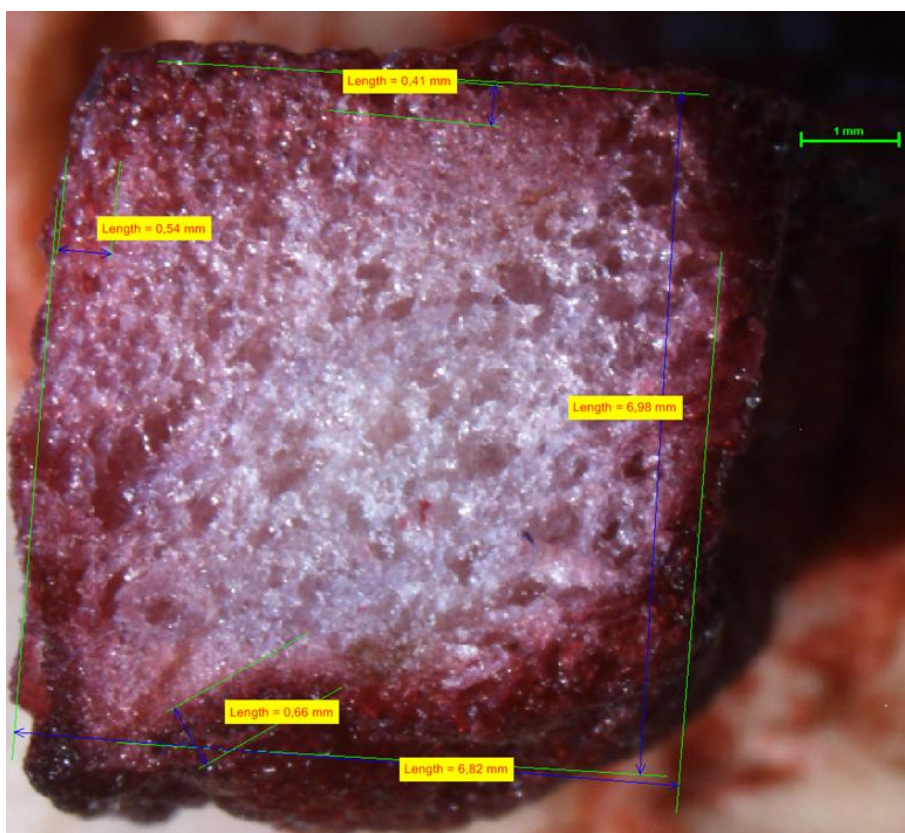
Rysunek 53. Zdjęcia z mikroskopu chipsy jabłkowe w kształcie frytek - kontrola i NFC-A-0%.

Na rysunku 54 przedstawiono zdjęcie z mikroskopu przekroju chipsów z jabłek odwadnianych w zagęszczonym soku z udziałem aronii (A-20%). Na zdjęciu widać głębokość wnikania roztworu osmotycznego do wnętrza jabłka. W samym środku jabłko ma barwę jasną, oznacza to, że roztwór nie dotarł do całej objętości jabłka. Należy zaznaczyć, że próbka była tylko odwadniana przez 60 minut, jeżeli proces będzie wydłużony to roztwór wniknie do całej objętości próbki. Najwięcej roztworu znajduje się na głębokości do około 0,6 mm natomiast cała frytka ma około 7 mm.

Na rysunku 55 przedstawiono zdjęcie z mikroskopu przekroju chipsów z jabłek odwadnianych w zagęszczonym soku z udziałem aronii (A-80%). Na zdjęciu widać głębokość wnikania roztworu osmotycznego do wnętrza jabłka. Większy udział aronii powodował, że próbka jest bardziej wybarwiona i ciemniejsza. Ponadto małe cząsteczki aronii spowodowały, że głębiej one wniknęły i w przekroju próbka jest bardziej wybarwiona. Po za tym w wewnętrznej części chipsa znajdują się spore pory powstały w skutek puffingu, czyli nadmuchania próbki.



Rysunek 54. Zdjęcia z mikroskopu chipsy jabłkowe w kształcie frytek - kontrola i NFC-A-20%.



Rysunek 55. Zdjęcia z mikroskopu chipsy jabłkowe w kształcie frytek - kontrola i NFC-A-80%.



Zużycie energii

W tabeli 32 przedstawiono czas suszenia, zużycie energii, ubytek wody i sprawność suszenia dla jabłek w kształcie frytek suszonych konwekcyjnie (CD) i mikrofalowo-próżniowo (VMD). Próbkę bez odwadniania osmotycznego (CD-VMD) suszona konwekcyjnie i mikrofalowo-próżniowo miała najmniejsze zużycie energii 33327 kJ. Uzyskała również dwukrotnie wyższą sprawność niż próbki odwadniane osmotycznie, jest to związane z tym, że w trakcie odwadniania osmotycznego część wody została usunięta z próbki natomiast sok, który wnikał do surowca w procesach suszenia utrudniał usuwanie wody. Dlatego proces trwał dłużej, co w konsekwencji przełożyło się na większe zużycie energii. Suszenie konwekcyjne miało sprawność znacznie wyższą od suszenia mikrofalowo-próżniowego, jest to związane z tym, że próbka w początkowym okresie suszenia ma dużą ilość wody w sobie dlatego na początku zawsze sprawność jest wyższa, a w trakcie suszenia zmniejsza się. Jest to związane z kinetyką suszenia, która ma charakter wykładniczy. Uzyskane wartości na poziomie około 16% jest to wartość stosunkowo wysoka jak na warunki laboratoryjne w skali półtechnicznej. Z kolei wartości sprawności suszenia VMD są poniżej 7 %, jest to związane z tym, że ta metoda suszenia wymaga obniżonego ciśnienia, które zużywa stosunkowo dużo energii. Jednakże dzięki przeprowadzonym badaniom w warunkach laboratoryjnych w skali półtechnicznej można porównać jak proces odwadniania osmotycznego wpływa na zużycie energii podczas suszenia.

Sposób suszenia	Czas suszenia (min)		Zużycie energii (kJ)		Ubytek wody (g)		Sprawność suszenia (%)	
	CD	VMD	CD	VMD	CD	VMD	CD	VMD
CD-VMD	120	142	17352	15975	1208	444,6	16,43	6,57
OD-NFC-CD-VMD	120	180	17352	20250	1160,65	266,2	15,79	3,10
OD-W-CD-VMD	120	148	17352	16650	1128,8	227,7	15,35	3,23

5.3.7. Właściwości fizyczne roztworów – Premium Chips frytki

Lepkość i stężenie roztworów przed i po OD

W tabeli 33 przedstawiono lepkość oraz stężenie roztworów osmotycznych przed i po procesie odwadniania osmotycznego. Stężenie roztworu przed procesem odwadniania osmotycznego miało wartość 40°Brix jest wynik przygotowania roztworu osmotycznego do procesu. Po 60 minutach odwadniania osmotycznego stężenie obniżało się od 36,1 do 37,3°Brix. Związane to jest z usuwaniem wody z jabłek, które rozgadnia ten roztwór oraz dodatkowo substancja stała wnikać do jabłek również obniża stężenie roztworu jedynie roztwór który jest podgrzany do



temperatury 45°C może odparowywać częściowo wodę zwłaszcza na powierzchni co może powodować jego zagęszczenie. Lepkość roztworów osmotycznych przed procesem odwadniania osmotycznego znajdowała się od 2,878 do 3,198 mPas przy temperaturze 45°C. Wyższe wartości posiadały roztworu, które były rozładniwane sokiem NFC, prawdopodobnie ten sok jest mniej klarowny niż soki zagęszczone dlatego lepkość tego roztworu była trochę większa. Po procesie OD lepkość roztworu się zmniejszyła od 2,327 do 2,829 mPas jest to związane ze stężeniem tego roztworu.

Tabela 21. Lepkość i stężenie roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD).

Rodzaj rozpuszczalnika	Udział soku aroniowego	Lepkość roztworu (mPas)		Stężenie roztworu (°Brix)	
		Przed OD	Po OD	Przed OD	Po OD
WODA	A-0%	2,878±0,011	2,587±0,01	40±0,3	37,3±0,2
	A-20%	2,899±0,013	2,327±0,01	40±0,1	36,1±0,2
	A-50%	2,908±0,011	2,406±0,009	40,1±0,4	36,4±0,2
	A-80%	2,889±0,013	2,518±0,011	40±0,3	36,2±0,1
NFC	A-0%	3,18±0,014	2,829±0,012	40±0,1	36,9±0,2
	A-20%	3,198±0,012	2,657±0,01	40±0,3	36,5±0,2
	A-50%	3,071±0,016	2,69±0,014	40±0,2	37,1±0,1
	A-80%	2,969±0,013	2,488±0,011	40±0,4	36,1±0,1

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że na lepkość roztworu miał wpływ rodzaj rozpuszczalnika oraz udział soku aroniowego w roztworze. W przypadku stężenia to rodzaj rozpuszczalnika nie miał istotnego wpływu na roztwór przed i po OD, jedynie udział soku aroniowego miał istotne znaczenie na stężenie roztworu po procesie odwadniania (Tab. 34).

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności							
	Lepkość roztworu (mPas)				Stężenie roztworu (°Brix)			
	Przed OD		Po OD		Przed OD		Po OD	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	885756,2	0,000	881149,7	0,000	325079,4	0,000	871238	0,000
Rozpuszczalnik	1099,9	0,000	1427,1	0,000	0,0	0,863	3,4	0,104
Udział soku aroniowego	68,4	0,000	333,6	0,000	0,0	1,000	31,3	0,000
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	72,9	0,000	219,0	0,000	0,0	0,992	10,0	0,004

pH i gęstość roztworów przed i po OD



W tabeli 35 przedstawiono pH oraz gęstość roztworów osmotycznych przed i po procesie odwadniania osmotycznego. pH roztworów znajdowała się na poziomie od 3,63 do 3,83 i zwiększała swoją wartość wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego w roztworze. Wyniki wielu badań wykazują istotny wpływ pH na kinetykę odwadniania osmotycznego w zależności od roztworów istnieje takie pH, które znacząco poprawia wymianę masy podczas odwadniania osmotycznego. W roztworach o małych udziałach soku aroniowego po OD pH zmniejszało się natomiast w roztworach o dużej zawartości soku aroniowego pH zwiększało się po OD. Gęstość roztworu przed procesem odwadniania wynosiła od 1,1407 do 1,1585 g/cm³, znajomość gęstości w warunkach przemysłowych pozwala na przygotowanie roztworów biorąc pod uwagę objętości a nie ich masy, w warunkach laboratoryjnych określając stosunek roztworu do surowca masowo (3:1). Po procesie OD gęstość maleje jest to związane z rozwodnieniem roztworu.

Tabela 22. pH i gęstość roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD).

Rodzaj rozpuszczalnika	Udział soku aroniowego	pH roztworu (-)		Gęstość roztworu (g/cm ³)	
		Przed OD	Po OD	Przed OD	Po OD
WODA	A-0%	3,675±0,035	2,575±0,049	1,1512±0,0042	1,1349±0,0061
	A-20%	3,67±0,042	3,715±0,035	1,1577±0,0026	1,1326±0,0047
	A-50%	3,765±0,049	3,91±0,057	1,1525±0,0042	1,1236±0,0047
	A-80%	3,755±0,035	3,915±0,049	1,1407±0,0028	1,1253±0,0048
NFC	A-0%	3,63±0,057	2,815±0,035	1,157±0,0028	1,1454±0,0034
	A-20%	3,735±0,049	3,31±0,057	1,1562±0,0042	1,1467±0,0023
	A-50%	3,735±0,035	3,605±0,035	1,1575±0,0035	1,1414±0,0054
	A-80%	3,83±0,042	3,86±0,042	1,1585±0,0014	1,1249±0,0033

W tabeli 36 przedstawiono analizę statystyczną pH i gęstości roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD). Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała że rodzaj rozpuszczalnika nie ma istotnego wpływu na pH roztworu przed OD, natomiast miał istotny wpływ dla roztworu po OD. Z kolei nie stwierdzono wpływu udziału soku aroniowego na gęstość roztworu przed OD. Pozostałe czynniki istotnie wpływały na badane parametry.

Tabela 23. Analiza statystyczna pH i gęstości roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD).

Efekt	Jednowymiarowe testy istotności
-------	---------------------------------



	pH roztworu (-)				Gęstość roztworu (g/cm ³)			
	Przed OD		Po OD		Przed OD		Po OD	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Wyraz wolny	115358,5	0,000	91425,4	0,000	1865818	0,000	1019851	0,000
Rozpuszczalnik	0,5	0,483	32,9	0,000	16	0,004	22	0,002
Udział soku aroniowego	7,6	0,010	545,7	0,000	3	0,075	10	0,005
Rozpuszczalnik*Udział soku aroniowego	2,0	0,190	39,5	0,000	6	0,022	3	0,093

5.4. Premium Chips – półksiężyc

Opracowanie technologii produkcji chipsów premium z jabłek w kształcie półksiężyca przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w skali półtechnicznej. Jabłka w kształcie półksiężyca 1/16 części jabłka o masie 500 g (masa 1 próbki) odwadniano w roztworze o masie 1500 g w temperaturze 45°C przez 60 minut. Do badań wykorzystano 4 różne roztwory, zagęszczony sok jabłkowy (PURENA i RAUCH) były rozwadniane sokiem NFC (NFC) do stężenia początkowego około 40°Brix. Następnie do tego roztworu (tylko PURENA) dodawano zagęszczony sok aroniowy (40°Brix) w różnych udziałach 33 i 66% (A33% i A66%). Próbką kontrolną były jabłka bez procesu odwadniania osmotycznego (Kontrola). Następnie próbki po procesie odwadniania osmotycznego osuszano na sitach i suszono konwekcyjnie (CD) w temperaturze 60°C, prędkości przepływu powietrza 1,2 m/s przez 120 minut w suszarce konwekcyjnej w skali półtechnicznej YLD -88 (Chiny) (Rys. 3). Po suszeniu konwekcyjnym próbki następnie suszono mikrofalowo-próżniowo (VMD) w zakresie mocy od 1000 W do 400 W, przy ciśnieniu 20-70 kPa. Masa próbek w badaniu wynosiła 2000 g. Po wysuszeniu próbki były stabilizowane w warunkach obniżonego ciśnienia przez około 30 minut, a następnie pakowane w obecności azotu i przechowywane do dalszych badań dotyczących jakości otrzymanych chipsów premium. W przypadku chipsów w kształcie półksiężyca przedstawiono jedynie najważniejsze wyniki badań.

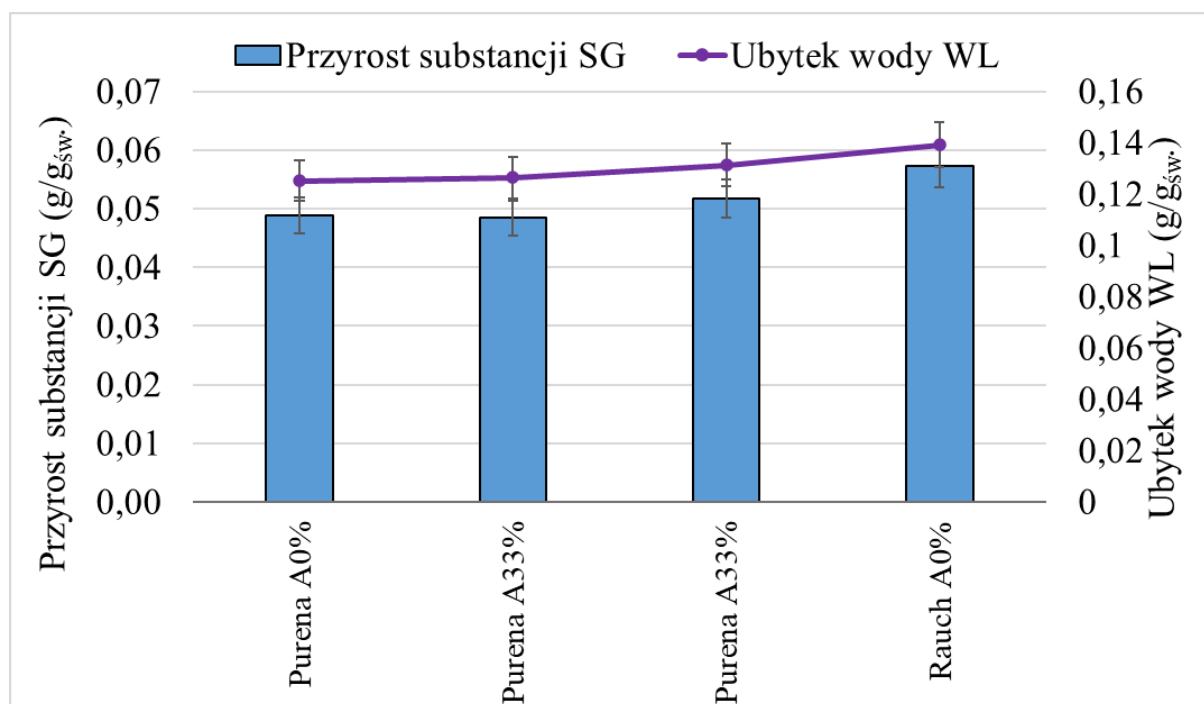
Na rysunku 56 przedstawiono przykładowe chipsy z jabłek w kształcie półksiężyca.



Rysunek 56. Chipsy premium w kształcie półksiężyca.

5.4.1. Odwadnianie osmotyczne – Premium Chips półksiężycy

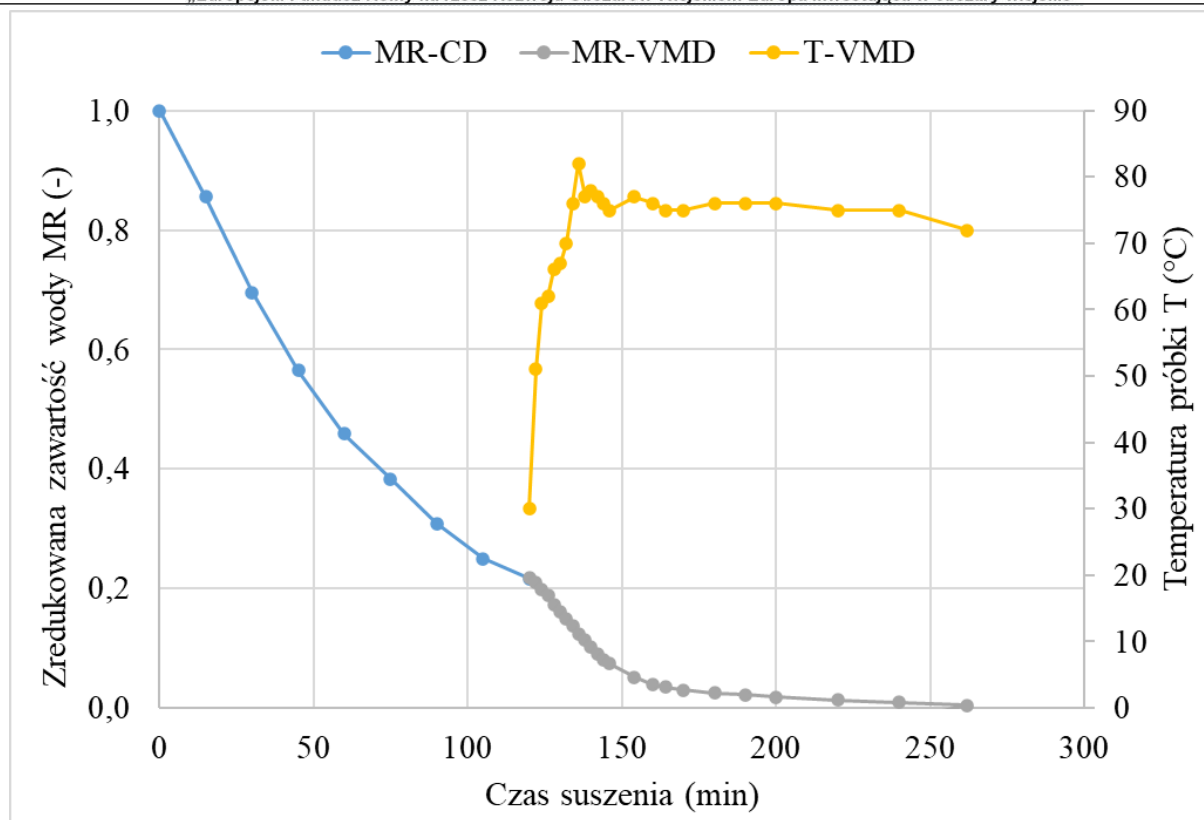
Na rysunku 57 przedstawiono przyrost substancji (SG) i ubytek wody dla jabłek w kształcie półksiężyca odwadnianych w roztworze osmotycznym. Przyrost masy kształtował się na poziomie około 0,05 g/g świeżego surowca i był mniejszy niż w przypadku jabłek w kształcie frytek. Jest to związane z mniejszą powierzchnią wnikania soku do roztworu, dodatkowo znaczna część powierzchni jest pokryta skórką, która również utrudnia wymianę masy podczas odwadniania osmotycznego. Ubytek wody WL znajdował się na poziomie około 0,13 g/g świeżego surowca i też był mniejszy niż w przypadku jabłek w kształcie frytek. Dodatkowo zauważono, że wymiana masy w roztworze uzyskanych z zagęszczonego soku firmy Rauch miała trochę większe wartości WL i SG. Dlatego bardzo ważne są badania przemysłowe w warunkach laboratoryjnych ponieważ nowa dostawa zagęszczonych soków może istotnie wpływać na proces wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego.



Rysunek 57. Przyrost substancji i ubytek wody dla jabłek w kształcie półksiężyca.

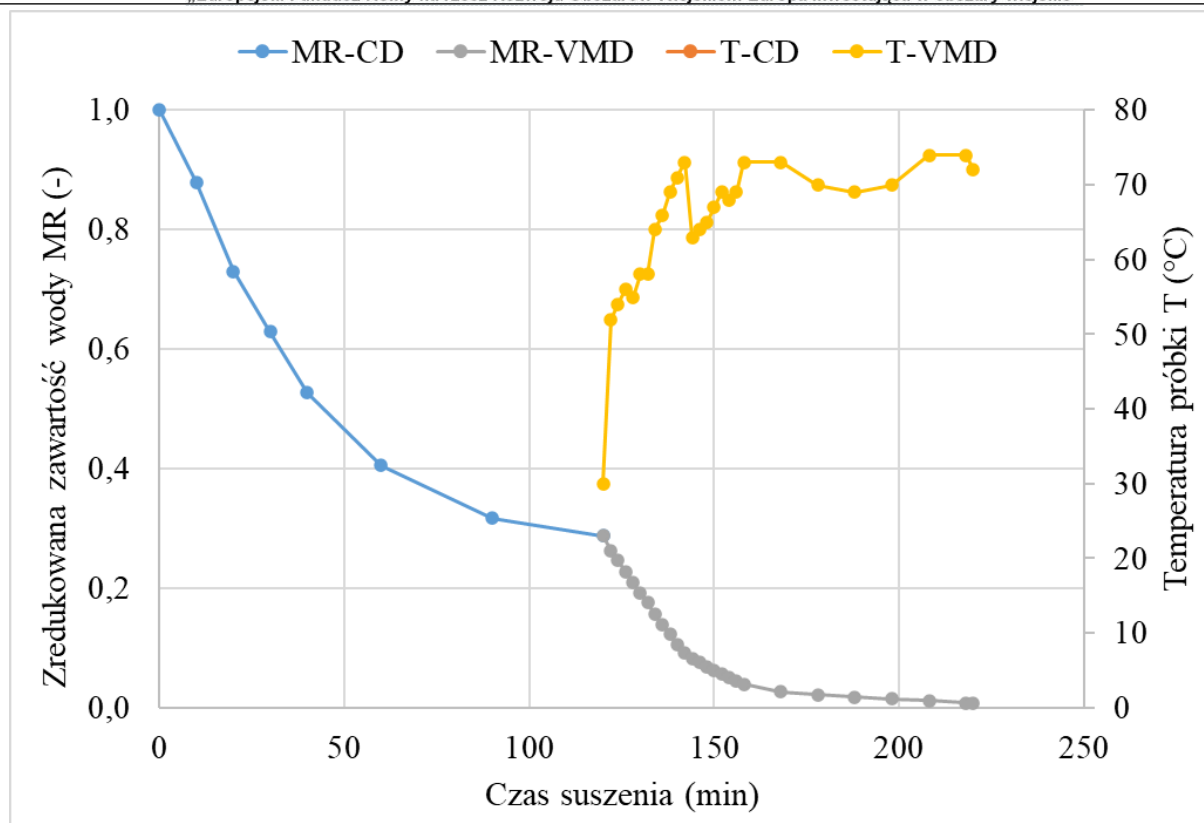
5.4.2. Kinetyka suszenia – Premium Chips półksiężycy

Kinetykę suszenia konwekcyjnego (CD) oraz mikrofalowo próżniowego (VMD) dla jabłek w kształcie półksiężyca przedstawiono na rysunkach 58 i 59. Na rysunku 58 przedstawiono kinetykę suszenia jabłek w kształcie frytek bez procesu odwadniania osmotycznego. Suszenie konwekcyjne trwało 120 minut wilgotność początkowa próbki wynosiła około 85 % wody i w trakcie tego suszenia wilgotność obniżyła się do około 57 % wody. Jeżeli proces byłby kontynuowany to przewidywany czas suszenia wynosił by kilkanaście godzin, dlatego w celu poprawy sprawności procesu suszenia wykorzystano suszenie mikrofalowo-próżniowe, które znacząco skróciło czas suszenia poprawiając efektywność tego procesu oraz nadało nowe cechy teksturalne.



Rysunek 58. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek bez odwadniania (półksiężyce).

Na rysunku 59 przedstawiono kinetykę suszenia jabłek w kształcie półksiężyca odwadnianych w zagęszczonym soku jabłkowym z dodatkiem soku aroniowego Purena A33%. Łączny czas suszenia wyniósł 220 minut. Suszenie rozpoczęto przy mocy mikrofal 1000 W. Gdy próbka osiągnęła wilgotność 23 % zredukowano moc mikrofal do 400 W, temperatura nagrzania próbki osiągnęła około 80°C. Po osiągnięciu 9 % wilgotności próbki zredukowano energię mikrofal dostarczaną podczas jednego cyklu suszenia o połowę i tą mocą suszono do osiągnięcia wilgotności końcowej na poziomie 2,87 %.



Rysunek 59. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych Purena A33% (półksiężycy).

5.4.3. Właściwości fizyczne – Premium Chips półksiężycy

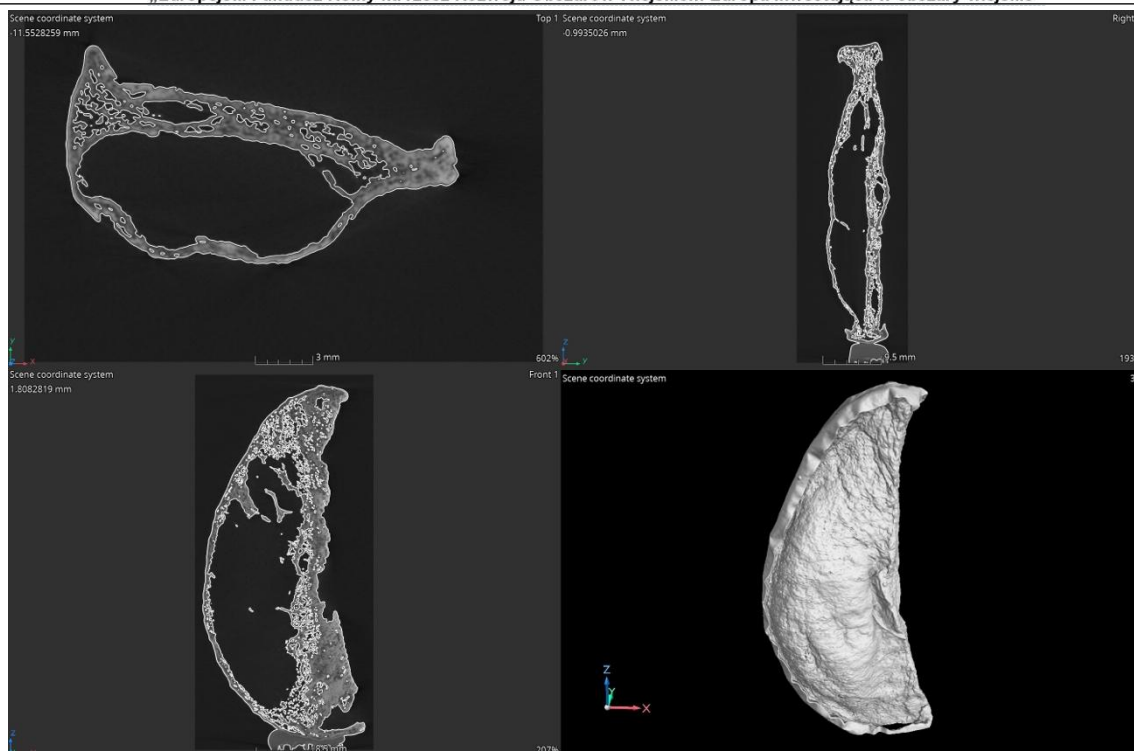
Rysunek 2 przedstawia przykładowe zdjęcia próbek poddanych obróbce w kształcie półksiężycy. Analiza obrazu wykazała znacznie większy puffing we wszystkich próbkach w porównaniu do jabłek w kształcie frytek (Rys 1). Może to być związane z większą masą próbek i w związku z tym większym wzrostem ciśnienia wewnątrz materiału, które doprowadziło do powstania puffingu. Nie wykazano większych różnic w strukturze wewnętrznej dla próbek odwadnianych w soku jabłkowym i aroniowym.



Rysunek 60. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie półksiężyca – bez OD.



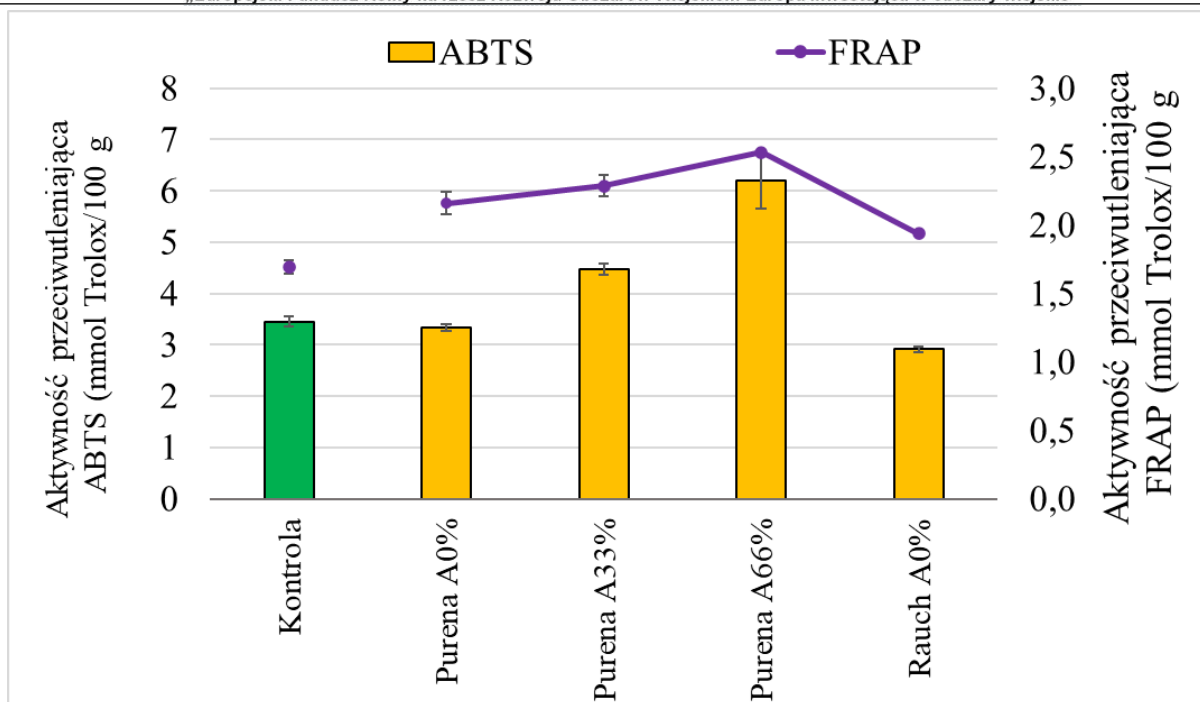
Rysunek 61. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie półksiężyca – Purena A0%.



Rysunek 62. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie półksiężyca – Purena A66%.

5.4.4. Właściwości chemiczne – Premium Chips półksiężycy

Na rysunku 63 przedstawiono właściwości przeciwutleniające wyrażone w testach ABTS i FRAP dla chipsów jabłkowych w kształcie półksiężyca. Próbkę odwadnianą w zagęszczonym soku jabłkowym bez dodatku aronii posiada wartości aktywności przeciwutleniającej na poziomie próbki kontrolnej. Natomiast dodatek soku aroniowego powodował znaczny wzrost aktywności przeciwutleniającej i rósł proporcjonalnie wraz ze wzrostem udziału soku aroniowego w roztworze. Na podstawie wyników badań chipsów w kształcie frytek stwierdzono, że 66% udziału aronii powinno być optymalne. Próbkę odwadnianą w roztworze w której udział soku aroniowego wynosił 66 % miał blisko dwukrotnie większą pojemność przeciw utleniającą niż próbka kontrolna bez odwadniania.



Rysunek 63. Aktywność przeciwutleniająca chipsów jabłkowych w kształcie półksiężyca.

5.4.5. Właściwości mikrobiologiczne – Premium Chips półksiężyce

Przeprowadzona analiza mikrobiologiczna chipsów z jabłek w kształcie frytek wykazała, że nie stwierdzono bakterii mlekowych, drożdży i pleśni w 1g próbki. Natomiast ogólna liczba drobnoustrojów oznaczona na podłożu PCA, była zróżnicowana i kształtowała się na niskim poziomie od 0 do $2,1 \times 10^2$ jtk/g próby.

5.5. Premium Chips – plastry

Opracowanie technologii produkcji chipsów premium z jabłek w kształcie plastrów przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w skali półtechnicznej. Jabłka w kształcie plastrów o grubości 6 mm o masie 500 g (masa 1 próbki) odwadniano w roztworze o masie 1500 g w temperaturze 45°C przez 90 minut. Do badań wykorzystano 4 różne roztwory, zagęszczony sok jabłkowy (PURENA) były rozduwane wodą (W) i sokiem NFC (NFC) do stężenia początkowego około 40°Brix. Następnie do tego roztworu dodawano zagęszczony sok aroniowy (40°Brix) w różnych udziałach 20 i 50% (A20% i A50%). Próbką kontrolną były jabłka bez procesu odwadniania osmotycznego (Kontrola). Następnie próbki po procesie odwadniania osmotycznego suszono na sitach i suszono konwekcyjnie (CD) w temperaturze 60°C, prędkości przepływu powietrza 1,2 m/s przez 120 minut w suszarce konwekcyjnej w skali półtechnicznej YLD -88 (Chiny) (Rys. 3). Po suszeniu konwekcyjnym próbki następnie suszono mikrofalowo-próżniowo (VMD) w zakresie mocy od 1000 W do 400 W, przy ciśnieniu 20-70 kPa. Masa próbek w badaniu wynosiła 2000 g. Po wysuszeniu próbki były stabilizowane

w warunkach obniżonego ciśnienia przez około 30 minut, a następnie pakowane w obecności azotu i przechowywane do dalszych badań dotyczących jakości otrzymanych chipsów premium. W przypadku chipsów w kształcie plastrów przedstawiono jedynie najważniejsze wyniki tych badań.

Na rysunku 56 przedstawiono przykładowe chipsy z jabłek w kształcie plastrów.



Rysunek 64. Chipsy premium w kształcie plastrów.

Na rysunku 65 przedstawiono chipsy jabłkowe w kształcie plastrów bez procesu odwadniania osmotycznego w komorze suszarki mikrofalowo-próżniowej.

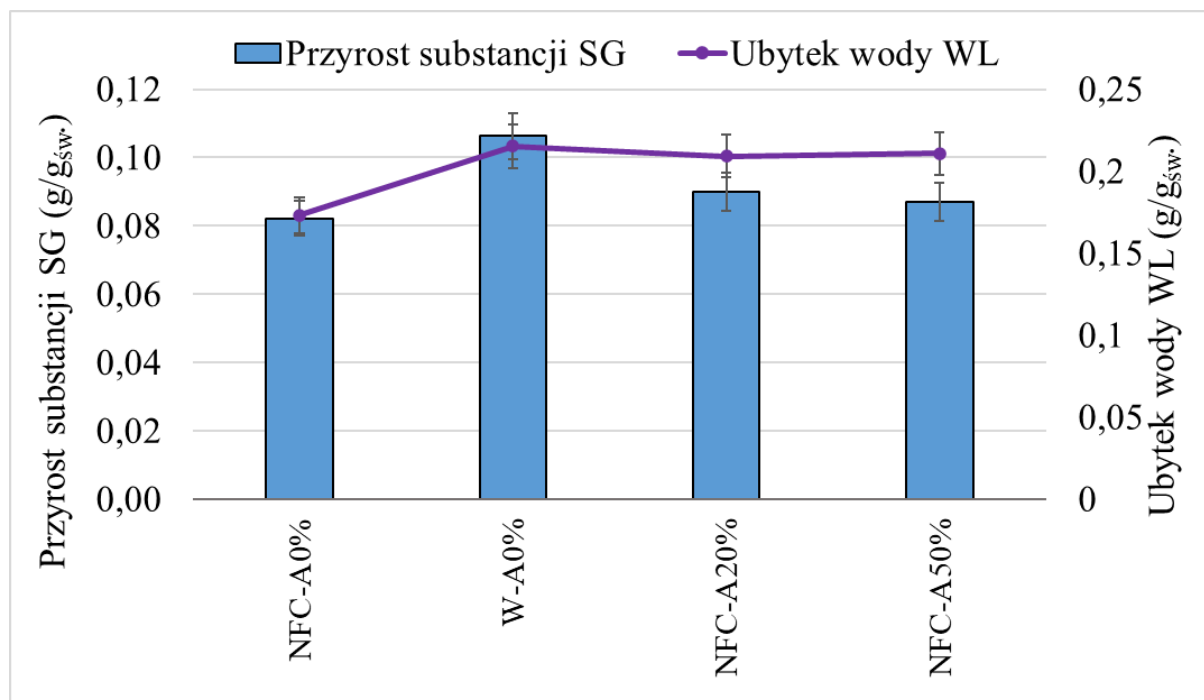


Rysunek 65. Chipsy jabłkowe w kształcie z plastrów bez odwadniania osmotycznego.

5.5.1. Odwadnianie osmotyczne – Premium Chips plastry

Na rysunku 66 przedstawiono przyrost substancji (SG) i ubytek wody dla jabłek w kształcie plastrów odwadnianych w roztworze osmotycznym. Przyrost masy kształtował się na poziomie około 0,1 g/g świeżego surowca i był dwukrotnie większy w porównaniu do jabłek w kształcie

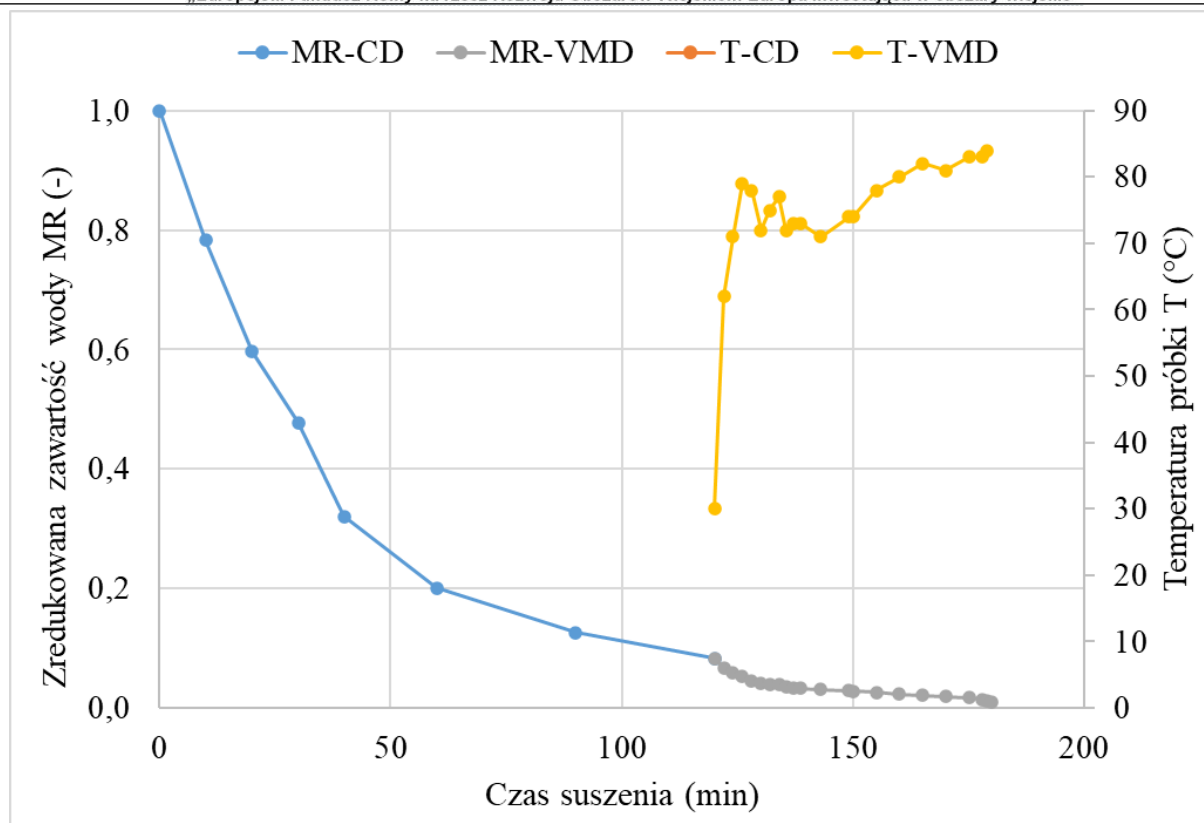
półksiężycza, dodatkowo czas odwadniania był o 30 minut dłuższy. Jest to związane z większą powierzchnią wnikania soku do roztworu. Ubytek wody WL znajdował się na poziomie około 0,2 g/g świeżego surowca i też był największy biorąc pod uwagę jabłka w innych kształtach. Dodatkowo zauważono, że wymiana masy w roztworze rozwadnianym wodą (W) miała trochę większe wartości WL i SG. Dlatego bardzo ważne są badania przemysłowe w warunkach laboratoryjnych ponieważ nowa dostawa zagęszczonych soków oraz kształt i wielkość jabłek może istotnie wpływać na proces wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego.



Rysunek 66. Przyrost substancji i ubytek wody dla jabłek w kształcie plastrów.

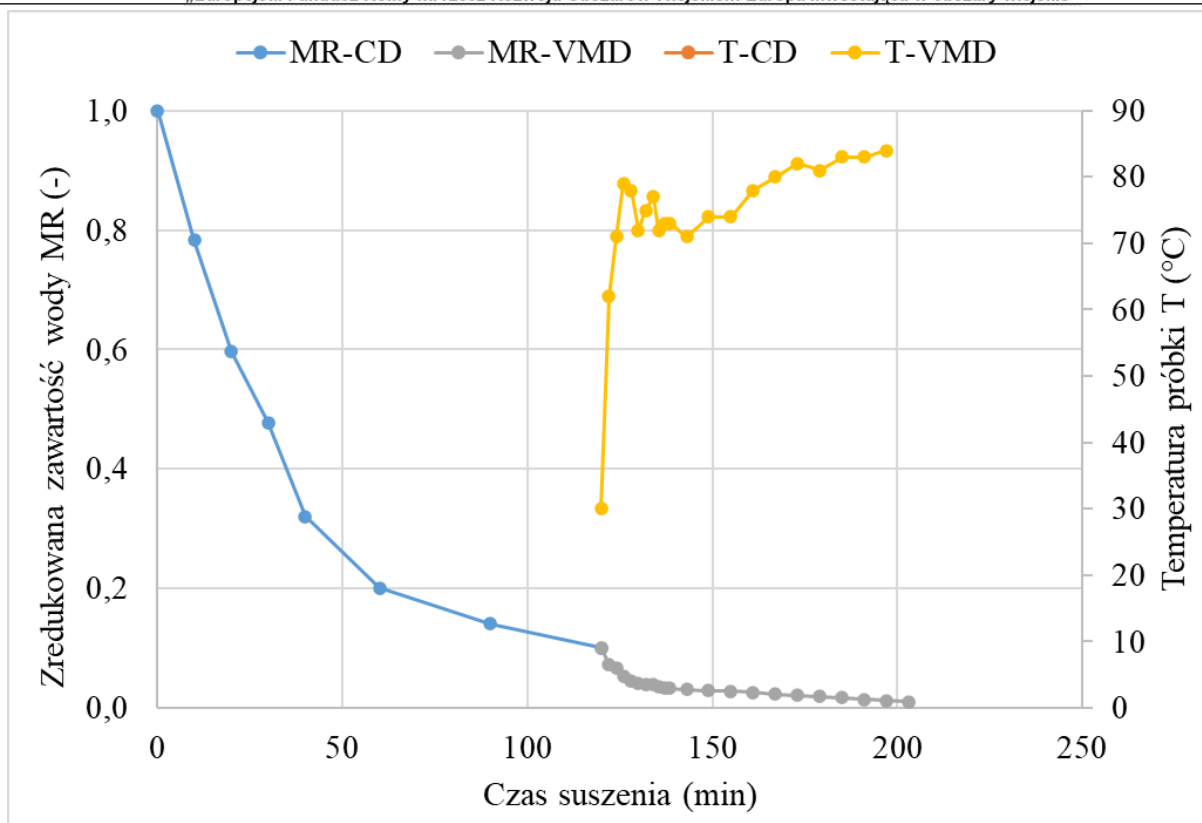
5.5.2. Kinetyka suszenia – Premium Chips plastry

Na rysunku 67 przedstawiono kinetykę suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego jabłek w kształcie plastrów bez odwadniania osmotycznego. Suszenie konwekcyjne trwało 120 minut i ka uzyskała wilgotność 25% natomiast suszenie mikrofalowo-próżniowe trwało 60 minut, a wilgotność końcowa próbki wynosiła 2,9 %. Podobnie jak w przypadku innych kształtów jabłek konieczna była redukcja mocy mikrofal w celu ochrony próbki przed przegrzaniem lub spalaniem. Redukcja do 400 W z 1000 W nastąpiła po 10 minutach suszenia, następnie po 16 minutach zredukowano energię dostarczaną w jednym cyklu do jej połowy i po 40 minucie suszenia ponownie zredukowano dawkę energii o połowę i przy tej dawce suszono do końca procesu.



Rysunek 67. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek bez odwadniania (plastry).

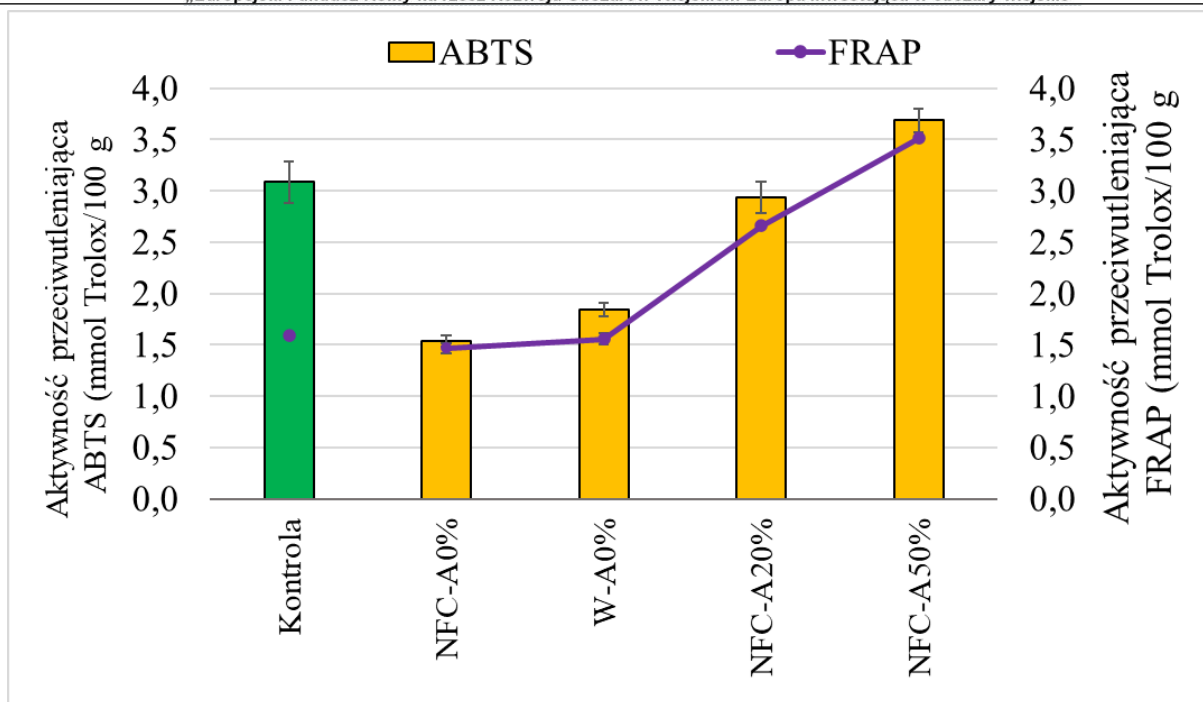
Na rysunku 68 przedstawiono kinetykę suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego jabłek w kształcie plastrów odwadnianych w zagęszczonym soku jabłkowo-aroniowym rozważanym soki NFC (NFC-A50%). Łączny czas suszenia wyniósł 203 minuty i był dłuższy od czasu suszenia próbki nieodwadnianych. Wilgotność jabłek po procesie odwadniania wynosiła 74 %, natomiast po suszeniu konwekcyjnym (120 min.) wynosiła 23,04 %. Suszenie mikrofalowo-próżniowe wymagało redukcji mocy w trakcie suszenia opierając się temperaturą nagrzania próbki, gdy próbka zbliżała się do 80°C następowała redukcja mocy mikrofal z 1000 W do 400 W w 10 minucie suszenia i kolejno 18 i 47 minucie zgodnie z procedurą wcześniejszą (Rys. 67).



Rysunek 68. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych NFC- A50% (plastry).

5.5.3. Właściwości chemiczne – Premium Chips plastry

Aktywność przeciwutleniającą oznaczanych metodą ABTS i FRAP dla jabłek w kształcie plastrów przedstawiono na rysunku 69. W przypadku plastrów próbka kontrolna czyli bez odwadniania posiadała wartość pojemności przeciwutleniającej wyższą od próbek odwadnianych s sokach jabłkowych rozwadnianych wodą i NFC. Dodatek soku aroniowego spowodował, że próbka z 20 % udziałem soku aroniowego posiadała aktywność na poziomie próbki bez odwadniania natomiast zwiększenie ilości aronii do 50 % powodował znaczący wzrost aktywności przeciwutleniającej oznaczanej dwoma metodami.



Rysunek 69. Aktywność przeciwutleniająca chipsów jabłkowych w kształcie plastrów.

5.5.4. Właściwości mikrobiologiczne – Premium Chips plastry

Przeprowadzona analiza mikrobiologiczna chipsów z jabłek w kształcie frytek wykazała, że nie stwierdzono bakterii mlekowych, drożdży i pleśni w 1g próbki. Natomiast ogólna liczba drobnoustrojów oznaczona na podłożu PCA, była zróżnicowana i kształtowała się na niskim poziomie od 0 do $1,39 \times 10^2$ jtk/g próby.



6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania przemysłowe w warunkach laboratoryjnych w skali półtechnicznej pozwoliły na opracowanie optymalnego składu roztworu osmotycznego uwzględniającego szybkość transferu masy podczas procesu odwadniania osmotycznego oraz suszenia, co wykorzystano podczas wdrażania technologii na linii produkcyjnej. Szczególną uwagę zwrócono na fakt, że dodatek soku aroniowego do roztworu w ilości 50% powoduje znaczną poprawę właściwości prozdrowotnych otrzymanych Chipsów Premium. Ponadto zastosowanie soku NFC do rozładniania zagęszczonego soku jabłkowego nie wpływał istotnie na wymianę masy podczas odwadniania osmotycznego, jedynie w niewielkim stopniu ją spowalniał, natomiast próbki uzyskane w tym roztworze posiadały nieco większą pojemność przeciwwutleniającą.

Opracowano szczegółowe parametry procesu suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego uwzględniając kinetykę oraz energochłonność procesów. Próbkę odwadnianie osmotycznie suszyły się nieco dłużej niż próbki bez odwadniania, co skutkowało obniżeniem sprawności procesu suszenia, natomiast uzyskane właściwości fizyko-chemiczne z pewnością rekompensowały większe zużycie energii.

Określono wpływ parametrów odwadniania oraz suszenia na właściwości fizyko-chemiczne uzyskanych Chipsów Premium. Znajomość tych właściwości znacząco ułatwiło przeskalowanie technologii produkcji Chipsów Premium oraz pozwoliło na sterowanie procesem w zależności od jakości surowców i roztworów pozyskanych do produkcji.

W badanych próbach ogólna liczba drobnoustrojów oznaczona na podłożu PCA kształtowała się na niskim bezpiecznym poziomie, ponadto nie stwierdzono obecności bakterii mlekowych (podłoże MRS-agar) oraz przedstawicieli drożdży i grzybów pleśniowych (YGC-agar).



Spis rysunków

Rysunek 1. Przykładowe kształty krajanki z jabłek	9
Rysunek 2. Przykład odwadniania osmotycznego w zagęszczonym soku aroniowym oraz osuszania jabłek odwadnianych osmotycznie.	10
Rysunek 3. Suszarka konwekcyjna YLD – 88.	11
Rysunek 4. Suszarka mikrofalowo-próżniowa Plazmatronika VMD.	12
Rysunek 5. Suszarka próżniowa SPT-200.	13
Rysunek 6. Wiskozymetr, pH metr i refraktometr (kolejno od lewej).	14
Rysunek 7. Kolorymetr i miernik aktywności wody (kolejno od lewej).	15
Rysunek 8. Piknometr gazowy i młynek laboratoryjny (kolejno od lewej).	16
Rysunek 9. Maszyna wytrzymałościowa Instron 5566.	17
Rysunek 10. Mikroskop Nikon i przykładowe zdjęcie z mikroskopu (kolejno od lewej).	18
Rysunek 11. Mikrotomograf Phoenix Vitomex S.	19
Rysunek 12. Licznik energii elektrycznej.	20
Rysunek 13. System ultrasprawnej chromatografii cieczowej UPLC Acquity.	22
Rysunek 14. Czytnika płytek Synergy H1	23
Rysunek 15. Wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL i SG.	27
Rysunek 16. Wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL/SG.	28
Rysunek 17. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL i SG.	30
Rysunek 18. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na WL/SG.	31
Rysunek 19. Aktywność przeciwutleniająca ABTS i FRAP jabłek odwadnianych osmotycznie.	31
Rysunek 20. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika oraz udziału soku aroniowego na ABTS i FRAP.	33
Rysunek 21. Aktywność przeciwutleniająca ABTS i FRAP roztworów osmotycznych przed procesem odwadniania osmotycznego.	37
Rysunek 22. Aktywność przeciwutleniająca ABTS i FRAP roztworów osmotycznych po procesie odwadniania osmotycznego.	38
Rysunek 23. Analiza statystyczna ABTS i FRAP roztworów osmotycznych przed procesem odwadniania osmotycznego.	39



Rysunek 24. Analiza statystyczna ABTS i FRAP roztworów osmotycznych po procesie odwadniania osmotycznego	40
Rysunek 25. Stężenie roztworu osmotycznego dla kolejnego odwadniania osmotycznego (1-4).	47
Rysunek 26. Wpływ kolejnego odwadniania na ubytek wody (WL) i przyrost suchej substancji (SG) w jabłkach odwadnianych	48
Rysunek 27. Wpływ kolejnego odwadniania na WL/SG.	48
Rysunek 28. Analiza statystyczna wpływ kolejnego odwadniania na WL, SG i WL/SG.....	50
Rysunek 29. Wpływ kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAB dla jabłek odwadnianych osmotycznie.....	51
Rysunek 30. Wpływ kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAB dla roztworów osmotycznych.....	55
Rysunek 31. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAB dla roztworów osmotycznych.	56
Rysunek 32. Przykładowe zdjęcia produkcji Chipsów Premium z jabłek w kształcie frytek..	63
Rysunek 33. Chipsy Premium z jabłek w kształcie frytek.	64
Rysunek 34. Przyrost substancji i ubytek wody dla jabłek w kształcie frytek.....	65
Rysunek 35. Analiza statystyczna przyrostu substancji i ubytku wody dla jabłek w kształcie frytek	66
Rysunek 36. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek bez odwadniania (frytki).....	68
Rysunek 37. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych J+NFC+A50% (frytki).	69
Rysunek 38. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych J+Woda+A50% (frytki).....	70
Rysunek 39. Aktywność przeciwutleniającą ABTS i przeciwnadciśnieniową ACE w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.....	72
Rysunek 40. Analiza statystyczna aktywności przeciwutleniającą ABTS i przeciwnadciśnieniowej ACE w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.	73
Rysunek 41. Analiza mikrobiologiczna w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.	74
Rysunek 42. Wilgotność i aktywność wody chipsów w kształcie frytek.	75
Rysunek 43. Właściwości mechaniczne chipsów z jabłek w kształcie frytek.	78
Rysunek 44. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek -kontrola.	81
Rysunek 45. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-0%.	81



Rysunek 46. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-0%.....	82
Rysunek 47. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-20%.	82
Rysunek 48. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-50%.	83
Rysunek 49. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – NFC-A-80%.	83
Rysunek 50. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-20%.....	84
Rysunek 51. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-50%.....	84
Rysunek 52. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie frytek – W-A-80%.....	85
Rysunek 53. Zdjęcia z mikroskopu chipsy jabłkowe w kształcie frytek - kontrola i NFC-A-0%.	86
Rysunek 54. Zdjęcia z mikroskopu chipsy jabłkowe w kształcie frytek - kontrola i NFC-A-20%.	87
Rysunek 55. Zdjęcia z mikroskopu chipsy jabłkowe w kształcie frytek - kontrola i NFC-A-80%.	87
Rysunek 56. Chipsy premium w kształcie półksiężyca.....	92
Rysunek 57. Przyrost substancji i ubytek wody dla jabłek w kształcie półksiężyca.	93
Rysunek 58. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek bez odwadniania (półksiężyce).....	94
Rysunek 59. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych Purena A33% (półksiężyce).	95
Rysunek 60. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie półksiężyca – bez OD.	96
Rysunek 61. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie półksiężyca – Purena A0%...	96
Rysunek 62. Zdjęcia z tomografu chipsy jabłkowe w kształcie półksiężyca – Purena A66%.	97
Rysunek 63. Aktywność przeciwutleniająca chipsów jabłkowych w kształcie półksiężyca. ..	98
Rysunek 64. Chipsy premium w kształcie plastrów.	99
Rysunek 65. Chipsy jabłkowe w kształcie z plastrów bez odwadniania osmotycznego.....	99
Rysunek 66. Przyrost substancji i ubytek wody dla jabłek w kształcie plastrów.....	100
Rysunek 67. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek bez odwadniania (plastry).....	101
Rysunek 68. Kinetyka suszenia konwekcyjnego (CD) i mikrofalowo-próżniowego (VMD) jabłek odwadnianych NFC- A50% (plastry).	102
Rysunek 69. Aktywność przeciwutleniająca chipsów jabłkowych w kształcie plastrów.....	103



Spis tabel

Tabela 1. Ilość rozpuszczalnika w roztworze osmotycznym.	26
Tabela 2. Analiza statystyczna wpływu rodzaju rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na ABTS i FRAP.	32
Tabela 3. Wpływ rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w odwadnianych jabłkach.	35
Tabela 4. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w odwadnianych jabłkach.	36
Tabela 5. Analiza statystyczna wpływ rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w odwadnianych jabłkach.	36
Tabela 6. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na ABTS i FRAP w roztworach osmotycznych przed i po procesie odwadniania	38
Tabela 7. Wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych przed procesem odwadniania.	41
Tabela 8. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych przed procesem odwadniania.	42
Tabela 9. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych przed procesem odwadniania.	42
Tabela 10. Wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych po procesie odwadniania.	44
Tabela 11. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych po procesie odwadniania.	45
Tabela 12. Analiza statystyczna wpływu rozpuszczalnika i udziału soku aroniowego na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych po procesie odwadniania.	45
Tabela 13. Analiza statystyczna wpływ kolejnego odwadniania na WL, SG i WL/SG.	Błąd!
Nie zdefiniowano zakładki.	
Tabela 14. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAP dla jabłek odwadnianych osmotycznie.	52
Tabela 15. Wpływ kolejnego odwadniania na zawartość związków fenolowych w jabłkach.	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.



Tabela 16. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na zawartość związków fenolowych w jabłkach.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 17. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na zawartość związków fenolowych w jabłkach.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 18. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na aktywność przeciwutleniającą ABTS i FRAB dla roztworów osmotycznych.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 19. Wpływ kolejnego odwadniania na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 20. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych.	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 21. Analiza statystyczna wpływu kolejnego odwadniania na zawartość związków fenolowych w roztworach osmotycznych.	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 22. Analiza mikrobiologiczna jabłek po kolejnym odwadnianiu.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 23. Analiza mikrobiologiczna roztworów po kolejnym odwadnianiu.....	62
Tabela 24. Analiza statystyczna przyrostu substancji i ubytku wody dla jabłek w kształcie frytek.....	66
Tabela 25. Analiza statystyczna aktywności przeciwutleniającą ABTS i przeciwnadciśnieniowej ACE w odwadnianych jabłkach w kształcie frytek.	72
Tabela 26. Analiza statystyczna wilgotność i aktywność wody chipsów w kształcie frytek. ..	75
Tabela 27. Właściwości fizyczne chipsów z jabłek w kształcie frytek.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 28. Analiza statystyczna właściwości fizyczne chipsów z jabłek w kształcie frytek. ..	77
Tabela 29. Analiza statystyczna właściwości mechanicznych chipsów z jabłek w kształcie frytek.	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 30. Parametry barwy chipsów z jabłek w kształcie frytek.....	79
Tabela 31. Analiza statystyczna parametrów barwy chipsów z jabłek w kształcie frytek.	80
Tabela 32. Zużycie energii oraz sprawność suszenia jabłek w kształcie frytek.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 33. Lepkość i stężenie roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD).	89
Tabela 34. Analiza statystyczna lepkości i stężenia roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD).	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.



Tabela 35. pH i gęstość roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD). 90

Tabela 36. Analiza statystyczna pH i gęstości roztworu osmotycznego przed i po procesie odwadniania osmotycznego (OD). 90