



UNIwersytet
PRZYRODNICZY
WE WROCLAWIU

WYDZIAŁ PRZYRODNICZO-TECHNOLOGICZNY

mgr inż. Joanna Majerska

**Kształtowanie właściwości fizyko-chemicznych produktów
odpadowych przemysłu owocowo-warzywnego w procesie
suszenia**

Formation the physico-chemical properties of waste products from the
fruit and vegetable industry in the drying process

**Praca doktorska
wykonana pod kierunkiem:
Promotor: Prof. dr hab. inż. Adam Figiel**

Wrocław, rok 2023

„Kiedy masz ludzi, którzy w ciebie wierzą, możesz przenosić góry. Pierwszą osobą jednak, która w ciebie uwierzy, musisz być ty sam!”

Anna Gołędzinowska

*Pragnę złożyć wyrazy szczerzej wdzięczności mojemu Promotorowi,
Prof. dr hab. inż. Adamowi Figłowi,
za merytoryczne ukierunkowanie niniejszej rozprawy doktorskiej, a także za
życzliwość i stworzone możliwości do rozwoju zawodowego*

*Podziękowania kieruję również do dr Ryszarda Parosy za nieustanne
inspiracje naukowo-zawodowe, które przelamują granice słowa
„niemożliwe”*

*Dziękuję mojemu Tacie i Dziadkom za wsparcie i dobre słowa podczas
realizacji studiów doktoranckich*

*Szczególnie dziękuję również mojemu Parnetrowi Życiowemu za
cierpliwość, motywację i wsparcie podczas pisania rozprawy doktorskiej*

Dziękuję moim Przyjaciółom – że jesteście

*Wyrazy podziękowania kieruję również do mojej przyjaciółki, mgr inż.
Aleksandry Zimmer, za wspólne badania i okazaną pomoc*

*Dziękuję również pracownikom naukowym i technicznym z Instytutu
Inżynierii Rolniczej oraz Katedry Owoców, Warzyw i Nutraceutyków
Roślinnych za pomoc w realizacji badań*

ROZPRAWA DOKTORSKA

Kształtowanie właściwości fizyko-chemicznych produktów odpadowych przemysłu owocowo-warzywnego w procesie suszenia

Spis treści

1.	Streszczenie w języku polskim + słowa kluczowe.....	6
2.	Streszczenie w języku angielskim + słowa kluczowe.....	8
3.	WSTĘP.....	10
4.	PRZEGLĄD LITERATURY.....	12
4.1.	Odpady przemysłu spożywczego.....	12
4.2.	Właściwości i kierunki zagospodarowania wytlóków z owoców i warzyw.....	13
4.3.	Metody utrwalania surowców pochodzenia roślinnego.....	19
4.4.	Suszenie surowców pochodzenia roślinnego.....	22
4.5.	Dodatki funkcjonalne pochodzenia roślinnego.....	24
4.6.	Wybrane parametry jakościowe produktów suszonych.....	26
5.	HIPOTEZY BADAWCZE i CEL PRACY.....	33
6.	MATERIAŁ i METODYKA BADAŃ.....	35
6.1.	Materiał badawczy.....	35
6.2.	Metodyka badań.....	37
6.2.1.	Waloryzacja wytlóków owocowych i warzywnych.....	39
6.2.2.	Przygotowanie materiału do suszenia.....	40
6.2.3.	Procesy suszenia.....	41
6.2.4.	Właściwości fizyczne.....	45
6.2.5.	Właściwości chemiczne.....	47
6.2.6.	Analiza statystyczna.....	48
7.	WYNIKI i Dyskusja.....	49
7.1.	Wpływ warunków suszenia na kinetykę suszenia wybranych suszy z wytlóków.....	49
7.2.	Wpływ warunków suszenia na wybrane właściwości fizyczne wysuszonego produktu.....	65
7.2.1.	Wytłoki z borówki amerykańskiej.....	65
7.2.2.	Wytłoki z żurawiny.....	70
7.2.3.	Wytłoki z buraka ćwikłowego.....	75
7.3.	Wpływ warunków suszenia na wybrane właściwości chemiczne wysuszonego produktu.....	78
7.3.1.	Wytłoki z borówki amerykańskiej.....	78
7.3.2.	Wytłoki z żurawiny.....	79

7.3.3. Wytłoki z buraka ćwikłowego	82
8. WNIOSKI	89
9. Bibliografia	92
10. Dorobek naukowy	105
11. Spis rysunków i tabel	108

1. Streszczenie w języku polskim + słowa kluczowe

Polska jest krajem, w którym produkuje się stosunkowo dużą ilość zarówno owoców, jak i warzyw. Bazując na danych opracowanych przez Główny Urząd Statystyczny (GUS), zbiory owoców w Polsce w 2020 r. osiągnęły wartość 4,2 mln ton – przy czym aż 3,4 mln ton dotyczy jedynie jabłek, natomiast zbiory warzyw wyniosły 4,1 mln ton. Na podstawie dostępnych źródeł stwierdzono, że do przetwórstwa spożywczego trafia ok. 60% owoców, oraz 10 – 30% warzyw, przy czym odpady produkcyjne pochodzące z przetwórstwa owocowo-warzywnego w dużej mierze przyjmują formę wyłoków i przyczyniają się do powstania znacznej ilości biomasy koniecznej do natychmiastowego zutylizowania z uwagi na bezpieczeństwo środowiska.

W związku z powyższym, zachodzi konieczność możliwie najszybszego zagospodarowania cennego odpadu, w postaci wyłoków owocowo-warzywnych, poprzez odpowiednie przetworzenie, które nie dopuszczając do zainicjowania procesów mikrobiologicznych pozwoli zachować ich właściwości funkcjonalne implikowane potencjałem bioaktywnym. Jednym ze sposobów przetwarzania surowców pochodzenia roślinnego gwarantujących stabilność mikrobiologiczną jest suszenie. Proces ten polega na usuwaniu wody z materiału o danej wilgotności mający na celu przedłużenie jego trwałości w trakcie przechowywania. Suszenie zatrzymuje procesy rozwoju drobnoustrojów, a także procesy biochemiczne, zmian fizycznych i chemicznych, zapewniając tym samym bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktu. w związku z tym suszenie w przemyśle rolno-spożywczym jest jednym z najważniejszych procesów technologicznych. Niestety oprócz zalet, suszenie może nieść za sobą wiele niekorzystnych zmian w aspekcie jakości określanej na podstawie analiz właściwości fizyko-chemicznych materiałów roślinnych. Wobec tego konieczne jest optymalizowanie procesów suszenia poprzez odpowiedni dobór temperatur, mocy mikrofal, czasu podsuszania czy też stosowania obróbki wstępnej materiału, mogącej wpływać m. in. na skrócenie czasu suszenia, co wydaje się być istotne również w kontekście minimalizowania zużycia energii elektrycznej.

W niniejszej pracy podjęto badania mające na celu optymalizację procesu suszenia odpadów pochodzących z przemysłu owocowo-warzywnego, na przykładzie wyłoków z borówki amerykańskiej (3 odmiany), żurawiny i buraków ćwikłowych, uwzględniając również dodatki funkcjonalne w postaci cząstek świeżych surowców

o różnym udziale procentowym (% masowy) w próbce wycieków, aby zwiększyć dostępność natywnych substancji pochodzących z surowca pierwotnego. Jakość wysuszonych próbek oceniona była na podstawie właściwości fizycznych i chemicznych takich jak parametry barwy, aktywność wody, gęstość nasypowa, całkowita zawartość polifenoli oraz pojemność przeciwutleniająca.

Zastosowano suszenie sublimacyjne, konwekcyjne, suszenie mikrofalowo-próżniowe oraz suszenie łączone polegające na podsuszaniu konwekcyjnym i dosuszaniu mikrofalowo-próżniowym. Wybrane procesy suszenia wykonano w trzech powtórzeniach technologicznych stosując różne parametry procesowe, takie jak temperatura suszenia, moc magnetronów czy czas podsuszania konwekcyjnego i moc dosuszania mikrofalowo-próżniowego w przypadku suszenia łączonego.

Badania wykazały, że wysoka temperatura oraz długi czas procesu przy niskiej temperaturze w suszeniu konwekcyjnym, a także duża moc magnetronów podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego spowodowała obniżenie aktywności przeciwutleniającej wycieków z owoców borówki amerykańskiej, których potencjał bioaktywny w dużym stopniu zależał także od odmiany. Okazało się, że w przypadku suszenia konwekcyjnego kostek buraka ćwikłowego oraz kompozycji na bazie wycieków z buraka z dodatkiem kostek buraka wysoka temperatura sprzyjała większej retencji związków polifenolowych w przeciwieństwie do suszenia konwekcyjnego kompozycji z dodatkiem kostek jabłek. z kolei, zwiększenie mocy magnetronów podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego w odniesieniu do wycieków z buraka spowodowało nieznaczny degradację związków polifenolowych oraz ich retencję w przypadku kompozycji z dodatkiem kostek buraka lub kostek jabłka. Stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne w zagęszczonym soku z aronii jest odpowiednią obróbką wstępną w celu zwiększenia potencjału bioaktywnego kompozycji na bazie wycieków i owoców.

Słowa kluczowe: Wycieki, owoce, warzywa, suszenie, pojemność przeciwutleniająca

2. Streszczenie w języku angielskim + słowa kluczowe

Poland is a country with a relatively high production of fruits and vegetables. Based on the data prepared by Central Statistical Office (GUS), in 2020 in Poland fruit harvests reached 4.2 million tons – where apples themselves contributed 3.4 million tons, with vegetables reaching 4.1 million tons. Based on the available sources, approximately 60% of fruits and 10-30% of vegetables go to processing, which results in significant amounts of waste materials, mainly in the form of pomace, that require immediate handling due to environmental safety.

Based on this information, there is a need of handling these waste materials in the fastest possible way by processing them using methods that prevent the pomace from developing microbiological activity and thus, preserve their functional properties implied by bioactive potential. One of the processing methods that guarantee the microbiological stability of plant-derived materials, is drying. This procedure removes water from the material of a given moisture to extend the life of the product during storage. Drying inhibits the growth of microorganisms and biochemical processes, as well as prevents physical and chemical changes, thus providing microbiological safety of the product. That makes the drying process one of the most important technological processes in the agri-food industry. Despite the abovementioned benefits, drying can cause multiple unfavorable changes in the quality of the product assessed based on the physio-chemical properties of plant material. Therefore, optimization of the drying process through proper selection of temperatures, microwave power, partial drying time, or any other pretreatment that can affect e.g. shortening the drying time, is necessary and of great importance in terms of energy saving.

The present study was therefore undertaken in order to optimize the drying process of waste materials delivered from the fruit and vegetable industry based on pomace examples from blueberries (3 varieties), cranberries, and red beets, taking into account functional additives in the form of fresh raw materials particles with various share (% of weight) in pomace samples to increase native compounds content from virgin raw material. The quality of dried samples was assessed based on their physical and chemical properties, such as color parameters, water activity, bulk density, total phenolics concentration, and antioxidant capacity.

The drying methods used were: convective drying, freeze-drying, microwave-vacuum drying, and combined drying using convective drying, and followed by vacuum-microwave drying. Selected drying processes were repeated in three technological replications with the application of different processing parameters, such as drying temperature, magnetrons power, time of convective pre-drying, and power of vacuum-microwave post-drying in the combined drying method.

Obtained results show that high temperature and long processing time with a low temperature in convective drying, as well as a high power of magnetrons in microwave-vacuum drying, decreased the antioxidant activity of pomace from blueberries, which greatly depended on the variety itself as well. In convective drying of root beet cubes and composition based on root beet pomace with root beet cubes, the high temperature increased retention of phenolic compounds in opposite to convective drying with the amendment of apple cubes. On the other hand, increasing the power of magnetrons during microwave-vacuum drying of root beet pomace affected slight degradation of phenolic compounds and reduced ich retention in composition with root beet cubes or apple cubes. It was noted that osmotic dehydration in concentrated juice from chokeberry is a suitable pre-treatment method for increasing the bioactive potential of composition based on pomace and fruits

Key words: Pomace, fruits, vegetables, drying, antioxidant capacity

3. WSTĘP

Nieodłącznym elementem niemal każdego procesu produkcji i przetwórstwa żywności zmierzającego do wytworzenia produktu głównego jest powstawanie produktów ubocznych oraz odpadów. Te ostatnie można podzielić na odpady magazynowe, powstające w wyniku składowania surowców czy półproduktów, i odpady produkcyjne, które powstają w trakcie obróbki wstępnej lub procesów technologicznych (Fronc i Nawirska, 1994). Odpady produkcyjne przemysłu owocowo-warzywnego w dużej mierze przyjmują formę wytlóków i stanowią od 10 do nawet 50% masy surowca (Abano i in., 2019), co przyczynia się do powstania znacznej ilości biomasy koniecznej do natychmiastowego zabezpieczenia z uwagi na dużą wilgotność, której wartość może osiągać nawet 80%. To prowadzi do szybko postępujących procesów mikrobiologicznych, a w konsekwencji do zepsucia materiału (Gouw, Jung, i Zhao 2017). Ponadto w przypadku materiałów tego typu problematyczne jest ich ekologiczne składowanie (Tarko, Duda-Chodak, i Bebak, 2012). Wyniki wielu badań wskazują na to, że wytloki z owoców i warzyw są bogatym źródłem witamin i związków bioaktywnych, których regularne spożywanie wpływa korzystnie na zdrowie człowieka (Erinle i Deborah, 2022). w związku z powyższym, zachodzi konieczność sprawnego zagospodarowania cennego odpadu w postaci wytlóków owocowo-warzywnych poprzez odpowiednie przetworzenie, które nie dopuszczając do zainicjowania procesów mikrobiologicznych pozwoli zachować ich właściwości funkcjonalne implikowane potencjałem bioaktywnym. Jednym ze sposobów przetwarzania surowców pochodzenia roślinnego gwarantujących stabilność mikrobiologiczną i wpływających na profil chemiczny otrzymanego produktu jest suszenie.

uszenie polega na usuwaniu wody z materiału o danej wilgotności w celu przedłużenie jego trwałości w trakcie przechowywania. Zatrzymuje ono negatywne procesy, takie jak: rozwój drobnoustrojów oraz zmiany biochemiczne, fizyczne i chemiczne, zapewniając tym samym bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktu (Typrowicz, 2006). W związku z tym suszenie w przemyśle rolno-spożywczym jest jednym z najważniejszych procesów technologicznych, który zwiększa dostępność niektórych surowców przez cały rok w formie suszonych owoców lub warzyw. Oprócz korzyści związanych z wydłużeniem czasu przydatności produktów do spożycia, suszenie niesie ze sobą szereg niekorzystnych zmian, które przyczyniają się do obniżenia

jakości wysuszonego produktu w porównaniu do świeżego surowca np. poprzez zmianę barwy na mniej atrakcyjną lub zmniejszenie zawartości związków polifenolowych (Cano-Lamadrid i in., 2017).

Odzyskiwanie i przetwarzanie odpadów przyczynia się do wspierania gospodarki żywnościowej wytwarzającej produkty zgodnie z zasadą „industrial symbiosis” (Neves i in., 2020) wpisującą się w ideę „zielonego ładu” (Pomykała i Raczyński, 2020). To skłania do rozpoczęcia badań i poszukiwania nowych kierunków zagospodarowania i przetwarzania wyłoków owocowych i warzywnych np. poprzez ich suszenie, co skutecznie zatrzymuje negatywne procesy mikrobiologiczne w materiale, dzięki usunięciu wody. Istnieje wiele sposobów usuwania wody z materiału za pomocą suszenia, które w różnym stopniu mogą wpływać na czas trwania procesu, stopień degradacji związków bioaktywnych, czy zmianę barwy produktu. Dodatkowo, odpowiedni dobór parametrów procesowych może przyczynić się do otrzymania suszu o pożądanych właściwościach (Baranowski i in., 2009; Górnaś i in., 2016; Deng i in., 2018; Kumar i in., 2018). w zależności od mechanizmu usuwania wody z materiału istnieje kilka sposobów suszenia wykorzystywanych do utrwalania odpadów pochodzenia roślinnego, w tym wyłoków. Różne sposoby suszenia zostaną omówione w rozdziale 4.4.

4. PRZEGLĄD LITERATURY

4.1. Odpady przemysłu spożywczego

Rosnąca świadomość społeczeństwa na temat wpływu zdrowego odżywiania na poprawę jakości życia powoduje wzrost zainteresowania produktami spożywczymi o walorach prozdrowotnych (Kuźniar i in., 2016). Od dawna wiadomo, że owoce i warzywa są niezbędnym elementem piramidy żywienia, a ich spożywanie odgrywa istotną rolę w budowaniu odporności organizmu na choroby, zwłaszcza w czasie kiedy świat został dotknięty pandemią koronawirusa SARS-CoV-2 i wynikającymi z niej zagrożeniami zdrowotnymi.

Polska jest krajem, w którym produkuje się stosunkowo dużą ilość zarówno owoców, jak i warzyw. Bazując na danych opracowanych przez Główny Urząd Statystyczny, zbiory owoców w Polsce w 2020 r. wynosiły 4,2 mln ton – przy czym aż 3,4 mln ton dotyczy jedynie jabłek – a zbiory warzyw sięgały 4,1 mln ton. Warto podkreślić, że w stosunku do 2019 r. są to zbiory o ok. 6% wyższe zarówno w odniesieniu do owoców, jak i do warzyw (GUS, 2020). Stwierdzono, że do przetwórstwa spożywczego trafia ok. 60% owoców, oraz 10 – 30% warzyw, przy czym udziały poszczególnych gatunków są różne (Kapusta, 2017). Dane zebrane przez Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa w 2019 r. pokazują, że na produkcję przetworów owocowych przeznaczono o 34% więcej owoców niż w 2018 r. – tj. 1,1 mln ton, z czego największy udział przypadł na mrożonki – 40%, oraz na produkcję soków – 25%, pozostały udział przypada m. in. na konfitury, marmolady, przeciery i susze (KOWR, 2018, Rynek owoców). w tym samym roku do przetwórstwa warzywnego trafiło ok. 1,4 mln ton warzyw, przy czym ok. 70% przeznaczono na mrożonki, konserwy, marynaty i sosy (KOWR, 2018, Rynek warzyw).

Nieodłącznym elementem niemal każdego procesu produkcji i przetwórstwa żywności jest powstawanie produktów ubocznych oraz odpadów, które można podzielić na odpady magazynowe, powstające przy składowaniu m. in. surowców czy półproduktów i na odpady produkcyjne, powstające w trakcie obróbki wstępnej lub procesów technologicznych (Fronc i Nawirska, 1994). Odpady produkcyjne pochodzące z przetwórstwa owocowo-warzywnego w dużej mierze przyjmują formę wytlóków i przyczyniają się do powstania znacznej ilości biomasy koniecznej do natychmiastowego

zutylizowania. Oprócz tego, wyciski owocowe i warzywne często zawierają powyżej 80% wody, co prowadzi do szybko postępujących procesów mikrobiologicznych, a w efekcie do zepsucia materiału (Gouw, Jung i Zhao 2017). Ponadto w przypadku materiałów tego typu problematyczne jest ekologiczne składowanie z uwagi na ryzyko skażenia gleb i wód gruntowych (Tarko, Duda-Chodak i Bebak 2012). w związku z tym poszukuje się możliwych kierunków zagospodarowania wycisków, tak aby uniknąć procesów gnilnych, a jednocześnie wdrażać proekologiczny system produkcji znany jako „zero-waste production”.

4.2. Właściwości i kierunki zagospodarowania wycisków z owoców i warzyw

Wyciski z surowców owocowych i warzywnych są przede wszystkim źródłem sacharydów, białek, związków mineralnych, błonnika, witamin, lipidów, kwasów organicznych, alkoholi, substancji barwnych, a także aromatycznych (Tarko, Duda-Chodak i Bebak, 2012; Davis i in., 2018). Ich odpowiednie przetworzenie i wykorzystanie w postaci dodatków funkcjonalnych do żywności lub odrębnego produktu, może przyczynić się do powstania nowej kategorii żywności, którą charakteryzują odpowiednie właściwości prozdrowotne (Tarko, Duda-Chodak i Bebak 2012; Krivokapić i in., 2021). Dodatkowo wdrożenie takich działań na szeroką skalę pozwoli na maksymalne wykorzystanie surowców i ograniczenie ilości odpadów, które ulegają stosunkowo szybkiemu zepsuciu, a przez to negatywnie oddziałują na stan środowiska. w związku z tym poniżej omówiono właściwości i zastosowanie wybranych, wycisków z owoców i warzyw.

Wyciski z aronii są chętnie wybierane do badań przez wielu naukowców (Oszmiański i Wojdyło, 2005) m. in. ze względu na zawartość antocyjanów, które stanowią najbardziej reprezentatywną grupę polifenoli w tym surowcu. Badania te wykazały, że zawartość związków fenolowych w soku z aronii wynosi 3729,1 mg/100 g suchej masy produktu, natomiast w powstałych podczas tłoczenia soku wyciskach jest ich prawie trzykrotnie więcej. To dowodzi, że odpady poprodukcyjne w formie wycisków z aronii mają relatywnie wysoki potencjał bioaktywny, który sprawia, że z powodzeniem mogą być one wykorzystywane jako dodatek w produkcji herbat owocowych (Bober i Oszmiański, 2004), a także nalewek zdrowotnych, które wykazują korzystne właściwości przeciwgrzybiczne, przeciwbakteryjne, a nawet antynowotworowe. Dzieje się tak za sprawą zawartych w wyciskach z aronii bioflawonoidów, które również

odpowiedzialne są za ciemne i intensywne zabarwienie napoju (Bolling i in., 2015). Dodatkowo, wytloki z aronii bogate są w witaminę C, B2 czy E oraz minerały tj. żelazo, wapń i miedź. Biorąc pod uwagę bogaty skład, wytloki z aronii mogą być z powodzeniem wykorzystywane do produkcji naturalnych barwników do żywności, czy też dodatków funkcjonalnych wpływających korzystnie na działanie układu pokarmowego, a nawet poprawę wzroku (Rodríguez-Werner, Winterhalter i Esatbeyoglu, 2019).

Owoce czarnej porzeczki są surowcem, z którego produkuje się głównie przetwory oraz pozyskuje sok. w 2021 r. została one mianowana jako „polski superowoc” ze względu na ich prozdrowotne właściwości i spowodowany tym popyt. Warto podkreślić, że Polska zajmuje drugie miejsce na świecie pod względem masy produkowanych owoców z czarnej porzeczki – w roku 2021 plony oszacowano na 150 tys. ton. (KOWR, 2021). Świeże owoce czarnej porzeczki zawierają 250 mg flawonoidów/100g suchej substancji, pełniących rolę przeciwutleniaczy, często barwników i naturalnych insektycydów oraz fungicydów (Sójka i in., 2009). Ponadto bogate są w sole mineralne, pektyny, a także witaminy, które są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania ludzkiego organizmu (KOWR, 2021). Zawartość związków polifenolowych maleje po procesie tłoczenia soków, ponieważ większość z nich pozostaje w skórce i pestkach, które stanowią odpad w postaci wytloków. Badania prowadzone przez naukowców z Wielkiej Brytanii (Kapasakalidis i in., 2006) udowodniły, że wytloki z czarnej porzeczki są bogatym źródłem polifenoli, głównie antocyjanów, których skład jest zbliżony do świeżych owoców czarnej porzeczki. Warto dodać, że wytloki z tych owoców wykazują relatywnie wysoką aktywność przeciwutleniającą wobec utleniania ludzkiego cholesterolu typu LDL (*z ang. low density lipoprotein*) (Landbo i Meyer, 2001), zatem z powodzeniem można je wykorzystać w produkcji żywności, jako „neutralizator” niekorzystnego dla człowieka cholesterolu LDL. Poza tym badania dotyczące wpływu dodatku proszku z wytloków z czarnej porzeczki do mieszaniny używanej do wypieku ciasta wykazały, że dodatek suszu na poziomie 10%, na tle innych dodatków, wpłynął najkorzystniej na właściwości reologiczne powstałego ciasta tworząc produkt o atrakcyjnych właściwościach sensorycznych (Rohm i in., 2015). Oprócz tego, korzystny wpływ dodatku wytloków z czarnej porzeczki, truskawek, wiśni i malin zaobserwowano na przykładzie wypieku muffinów (Górnaś i in., 2016). Wykazano, że dodatek proszku z tych wytloków polepsza właściwości sensoryczne i wizualne produktu. Udowodniono również, że dodatek

wytłoków z czarnej porzeczki w ilości 50 g·kg⁻¹ mąki pszennej oraz pieczenie w temperaturze 220°C, pozwala na uzyskanie produktu o zwiększonej retencji związków bioaktywnych (głównie kwasu elagowego i glikozydów flawonolowych). Prawdopodobnie mogło to być spowodowane relatywnie krótkim czasem działania podwyższonej temperatury, wynoszącym 14 min, w porównaniu do pozostałych temperatur, gdzie czas ten był ponad 2-krotnie dłuższy (35 min - 140°C; 18 min - 180°C) (Górnaś i in., 2016).

Równie atrakcyjnymi odpadami w formie wytłoków, pod względem zawartości związków bioaktywnych, są te pochodzące z owoców borówki amerykańskiej. Zawierają one relatywnie wysoką zawartość związków polifenolowych, głównie antocyjanów, które wykazują zdolność do redukcji komórek rakowych (Li i in., 2015; Elisia i Kitts, 2008). Dodatkowo, wytłoki z borówki amerykańskiej są bogate w błonnik, pektyny czy też polisacharydy, które mogą pełnić funkcję spichrzową, co sprawia, że mogą z powodzeniem być stosowane do produkcji żywności funkcjonalnej o udowodnionych właściwościach zapobiegających miażdżycy, cukrzycy, a także rakowi piersi czy okrężnicy (Doleyres, Fliss i Lacroix, 2002; Moore, Park i Tsuda, 1998). Z powodzeniem można wykorzystać również świeże (nieprzetworzone, tuż po produkcji soku) wytłoki z borówki, które amerykańscy naukowcy zastosowali jako dodatek do musztardy Dijon w celu podwyższenia zawartości związków bioaktywnych, a także wzbogacenia jej walorów smakowych. W efekcie uzyskano musztardę owocową (25% dodatku wytłoków z borówki) o zwiększonej zawartości błonnika i polifenoli, korzystnej barwie i atrakcyjniejszym smaku w porównaniu do musztardy bez dodatku wytłoków z borówki (Davis i in., 2018).

Obficie powstającym odpadem w przemyśle spożywczym są wytłoki z żurawiny, które są relatywnie tanim materiałem cieszącym się coraz większym zainteresowaniem. Wytłoki z żurawiny mogą być zastosowane do odzyskiwania związków bioaktywnych tj. tokochromanoli, jedno- i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych oraz innych związków fenolowych, których regularne spożywanie powoduje prozdrowotny wpływ na wybrane funkcje organizmu ludzkiego (Kühn i Temelli, 2017). Ściany komórkowe wytłoków z żurawiny składają się głównie z polisacharydów stanowiących 75% udziału wagowego, które w przeciwieństwie do włókien celulozy, zawierają błonnik o różnym stopniu rozpuszczalności w wodzie, dzięki czemu mogą pełnić funkcję prebiotyków i wspomóc utrzymanie poprawnej flory jelitowej (White i in., 2010). Wytłoki z żurawiny

są również bogate w proantocyjanidyny typu A, które wykazują relatywnie wysokie zdolności przeciwutleniające, dzięki czemu mogą z powodzeniem wspomagać leczenie infekcji dróg moczowych (Andreani i in., 2021). z tych względów wytloki żurawinowe w ostatnich latach są pożądanym surowcem i dzięki temu powstaje coraz więcej badań potwierdzających możliwość ich wykorzystania do otrzymywania żywności funkcjonalnej (Kühn i Temelli, 2017; Davis i in. 2018; Andreani i in., 2021).

Równie interesującymi i wartymi uwagi surowcami są warzywa, m. in. burak ćwikłowy. Warto wspomnieć, że Polska jest największym unijnym producentem tego warzywa, a krajowe zbiory w 2019 r. wyniosły 281 tys. ton, a w poprzednich latach sięgały nawet 375 tys. ton (KOWR, 2021). Burak ćwikłowy jest chętnie spożywany ze względu na swoje właściwości prozdrowotne, które zawdzięcza zawartym w swoim składzie związkom polifenolowym czy folianom (Neha i in., 2018; Abdo i in., 2021). Ponadto, burak ćwikłowy jest lekkostrawny i niskokaloryczny, co w dobie obecnych trendów i świadomości żywieniowej jest jedną z porządkanych cech spożywanej żywności (KOWR, 2021). Wytłoki z buraków są bogatym źródłem betalain, betanin, antyoksydantów, a także błonnika pokarmowego (Abdo i in., 2021), podobnie jak wytłoki z marchwi (Abano i in., 2019). Zawartość błonnika odgrywa istotną rolę w diecie człowieka, która przyczynia się do rozwoju pożytecznej flory jelitowej, poprawia perystaltykę jelit czy też reguluje prawidłowy poziom glukozy i cholesterolu we krwi (Čanadanović-Brunet i in., 2011; Abdo i in., 2021). Do tej pory wytłoki z buraka były powszechnie stosowane w przemyśle paszowym lub jako nawóz (Łaba, 2012). Stosunkowo nowym kierunkiem w odniesieniu do dotychczasowego zastosowania wytlóków z buraka jest pozyskiwanie z nich ekstraktu i dalszy odzysk substancji bioaktywnych o maksymalnej zawartości przeciwutleniaczy (Kumar, Kushwaha, Goyal, Tanwar i Kaur, 2018). Równie nowym kierunkiem zagospodarowania tych wytlóków jest opracowywanie nowych produktów wzbogacanych substancjami bioaktywnymi pochodzącymi z buraka, np. produkcja cukierków imbirowych wzbogacanych ekstraktem z buraka (Kumar i in., 2018). Z uwagi na ostry smak i aromat imbiru ma on ograniczone możliwości przetwórcze, a metody obróbki wstępnej stosowane wobec tego surowca przyczyniają się do znacznej degradacji związków bioaktywnych, a nawet dezaktywacji enzymów (Kumar i in., 2018). Zastosowanie dodatku w postaci ekstraktu z wytlóków buraczanych łagodzi smak otrzymanych produktów, a także wzbogaca je dodatkowe źródło substancji prozdrowotnych utraconych w trakcie obróbki imbiru

(Balasundram, Sundram i Samman, 2006). z wyłoków wysuszonych konwekcyjnie w temperaturze 55°C otrzymano proszek, z którego pozyskano ekstrakt. Następnie zblanszowany imbir został poddany odwadnianiu osmotycznemu w roztworach glukozy z różnym dodatkiem ekstraktu z buraka. Zaobserwowano, że im większy dodatek ekstraktu, tym korzystniejsze walory smakowe oraz skład uzyskanych cukierków – wzrost substancji fitochemicznych (Kumar i in., 2018).

Równie często wykorzystywanym odpadem warzywnym są wyłoki pomidorowe, służące do wytwarzania dżemów niskokalorycznych, które mogą być spożywane przez osoby zmagające się z cukrzycą (Kamiloglu, Pasli, Ozcelik, Van Camp i Capanoglu, 2015). Wyłoki z pomidorów były poddawane liofilizacji, następnie tworzone mieszankę z dodatkiem fruktozy, chlorku wapnia, kwasu cytrynowego, pektyn i cynamonu (Belović i in., 2017). Wyniki badań wykazały, że otrzymane dżemy charakteryzowały się nawet 20-krotnie większą ilością błonnika niż komercyjny dżem morelowy, a także niższą wartością energetyczną. Łagodniejszy smak uzyskano dzięki wprowadzeniu dodatku cynamonu, który z powodzeniem neutralizował smak i zapach pomidorów (Belović i in., 2017).

Biorąc pod uwagę potencjał bioaktywny wyłoków owocowo-warzywnych i możliwości ich przetworzenia, można stwierdzić, że rynek spożywczy wykorzystuje zaledwie kilka możliwych kierunków ich zagospodarowania. Najczęstszym znanym sposobem wykorzystania wyłoków jest ich przeznaczanie na pasze dla zwierząt, nawozy, komponenty kompostu (dodatek wzbogacający glebę), czy też ich zastosowanie do produkcji różnego rodzaju napojów (Łaba, 2012). Od niedawna prowadzone są badania nad nowymi kierunkami wykorzystania wyłoków. Sprzyja temu rozwój nowych technik i technologii w zakresie badań nad żywnością oraz przetwórstwem spożywczym. Powstające odpady – w tym wyłoki, które powstają podczas produkcji soków, można w odpowiedni sposób przetworzyć i uzyskać zupełnie nową gamę produktów lub dodatków funkcjonalnych, które mogą być wykorzystane do wzbogacania różnego rodzaju żywności (Majerska, Michalska i Figiel, 2019; Baranowski i in., 2009). Korzystny wpływ dodatku wyłoków owocowych i warzywnych, w postaci suszu lub ekstraktów, został zbadany w kilku sektorach spożywczych dotyczących produkcji żywności funkcjonalnej, nośników żywności, a także produktów zbożowych, mlecznych, owocowych, warzywnych, czy też popularnych przekąsek i słodczy.

Proces wzbogacania produktów w wyłoki może podnosić jakość otrzymanych kompozycji, określaną przez właściwości fizyczne, reologiczne, chemiczne, czy też prozdrowotne (Banerjee i in., 2017). Mając na uwadze aktualne doniesienia literaturowe na temat korzystnego wpływu dodatku wyłoków na wartość odżywczą różnych produktów spożywczych trzeba zadbać o prawidłowy sposób utrwalenia wyłoków zapewniający zachowanie jak największej ilości składników natywnych. w przypadku zastosowania procesu termicznego, do którego zalicza się suszenie, należy dążyć do korzystnego bilansu nowo tworzonych związków chemicznych, tzw. produktów reakcji Maillarda, które mogą wykazywać zarówno pozytywny, jak i negatywny wpływ na zdrowie człowieka (Tamanna i Mahmood, 2015; Toda i in., 2019). Związki będące produktami reakcji Maillarda przybierają barwę od żółtej do brunatnej lub nawet czarnej, powstają w wyniku łańcuchowych reakcji aminokwasów i białek z cukrami. Wśród nich można zidentyfikować wiele substancji (akrylamid, aminy aromatyczne) mających negatywny wpływ na zdrowie, w tym kancerogeny (Skog, Johansson i Jägerstad, 1998; Borgen, Solyakov i Skog, 2001; Gökmen i Şenyuva, 2006). Od kilkunastu lat badane są również pozytywne skutki reakcji Maillarda, ze względu na powstawanie kompleksów białkowo-cukrowych, które wykazują wysoką pojemność przeciwutleniającą (Morales i Jimenez-Pérez, 1998; Molyneux, 2004; Morales, 2005). Podczas obróbki termicznej surowców pochodzenia roślinnego, na skutek reakcji Maillarda dochodzi do zmiany zawartości związków bioaktywnych, takich jak polifenole (związki o charakterze termolabilnym). Utworzone produkty reakcji Maillarda wpływają na właściwości sensoryczne i pojemność przeciwutleniającą badanego materiału, którego końcowe właściwości zależą mogą od gatunku, odmiany, sposobu uprawy i rodzaju obróbki termicznej (Zhang i in., 2019).

Warto wspomnieć o korzyściach ekologicznych i ekonomicznych związanych z propagowaniem prawidłowego zagospodarowania wyłoków owocowych i warzywnych. Dostarczanie do ludzkiego organizmu substancji i związków bioaktywnych zawartych w wyłokach owocowo-warzywnych pochodzących z przetwórstwa owoców i warzyw może przyczynić się do zmniejszenia ryzyka występowania lub wspomagania leczenia chorób niezakaźnych (tzw. cywilizacyjnych), które zwiększają swój zasięg zwłaszcza w krajach zachodnich, gdzie wciąż rejestruje się największe spożycie żywności typu *fast food* (z ang. *szybka żywność*). Jak podaje Narodowe Centrum Edukacji Żywnościowej, żywność *fast food* spożywana w nadmiarze

może się przyczyniać do pogorszenia stanu zdrowia ludzkiego, głównie przez zawarte w nadmiarze substancje tłuszczowe typu *trans*, cukier, sól oraz glutaminian sodu. Na 67 dorocznym posiedzeniu naukowym Towarzystwa Kardiologicznego Australii i Nowej Zelandii, Tarunpreet Saluja z University of Newcastle w Australii potwierdził, że wyżej wymienione substancje i związki zawarte w żywności typu *fast food* w znacznym stopniu przyczyniają się do występowania chorób niedokrwiennych serca, co może prowadzić do zawału serca. Dane statystyczne z lat 2001-2013 zebrane przez naukowców z Australii wskazują na zależności pomiędzy ilością dostępnych barów *fast food* w danym regionie, a ilością pacjentów z atakiem serca. Dodatkowo, dane pozyskane w 2019 r. przez World Health Organization (WHO, z ang. *Światowa Organizacja Zdrowia*) wskazują, że każdego dnia na świecie odnotowuje się 32,4 mln zawałów i udarów serca, a w Polsce w skali roku rejestruje się aż 120 tys. przypadków chorób zespołu wieńcowego. z uwagi na ten fakt, należy propagować produkowanie i spożywanie zdrowej żywności oraz zagospodarowywanie wciąż niedocenionego źródła substancji bioaktywnych, jakim są wytloki z owoców i warzyw. Trzeba przy tym zadbać o zminimalizowanie problemów dotyczących zanieczyszczeń mikrobiologicznych wewnątrz i w otoczeniu firm wytwarzających tego typu odpady oraz wspierać programy służące ochronie środowiska.

Biorąc pod uwagę dodatni przyrost naturalny przy zachowaniu tej samej przestrzeni życiowej, ograniczenie wytwarzania odpadów oraz ich ponowne zagospodarowanie zgodnie z zasadą „industrial symbiosis” wpisującą się w ideę „zielonego ładu”, wydaje się fundamentalną potrzebą dzisiejszych czasów. Dlatego niezbędnym staje się poszukiwanie nowych kierunków zagospodarowania i przetwarzania wytlóków owocowych i warzywnych, również z uwagi na fakt, że ich spożywanie wpływa korzystnie na zdrowie człowieka. Wiąże się to z koniecznością wdrażania nowych rozwiązań technologicznych w przemyśle spożywczym, które powstają na podstawie wyników badań naukowych.

4.3. Metody utrwalania surowców pochodzenia roślinnego

Utrwalenie produktu to przedłużenie jego trwałości poprzez zahamowanie rozwoju drobnoustrojów, procesów biochemicznych, zmian fizycznych i chemicznych, a tym samym zapewnienie bezpieczeństwa mikrobiologicznego. Taki stan produktu można zapewnić stosując metody fizyczne, chemiczne, biotechnologiczne i mieszane, będące kombinacją wymienionych metod (Typrowicz, 2006).

W przemyśle najczęściej wykorzystywaną metodą fizyczną utrwalania żywności jest metoda oparta na zastosowaniu niskich temperatur: chłodzenie i mrożenie (zakres temperatur: od -20 do -40°C). Mrożenie niszczy strukturę komórkową surowca i wymaga zapewnienia ciągłego zasilania energią elektryczną (Typrowicz, 2006).

Z kolei metody chemiczne są łatwe w zastosowaniu, a jednocześnie bardzo efektywne i polegają na wprowadzaniu substancji chemicznych, dzięki którym następuje opóźnienie wzrostu drobnoustrojów (Krzysztofik i in., 2015). Utrwalające związki chemiczne stosowane do żywności nazywane są konserwantami. Substancje dodatkowe nie są typowymi składnikami żywności, mają one zastosowanie technologiczne powodujące określony rezultat jakim jest:

- przedłużenie trwałości,
- zwiększenie atrakcyjności,
- zapobieganie zmianom barwy, smaku i konsystencji.

Ponadto, stosowanie substancji konserwujących może mieć różny wpływ na dany produkt, a same substancje różnią się od siebie i powodują różne efekty. Mianowicie poszczególne środki konserwujące mogą:

- Oddziaływać destrukcyjnie na ścianę i błonę komórkową,
- Interferować w mechanizm genetyczny,
- Inaktywować enzymy, ważne w procesach życiowych drobnoustrojów.

Stosowane konserwanty posiadają wiele doraźnych zalet i mimo zezwolenia na ich stosowanie w produktach spożywczych, prowadzone są liczne badania odnośnie ich szkodliwego wpływu na zdrowie człowieka. w zależności od ilości zastosowanych środków konserwujących, ich działanie może być: obojętne, pobudzające, hamujące lub zabójcze (Krzysztofik i in. 2015). Rosnąca świadomość społeczeństwa na temat odżywiania się i rygorystyczne przepisy dotyczące wprowadzania substancji chemicznych do żywności spowodowały rozwój prac nad niechemicznymi metodami konserwacji (Krzysztofik i in. 2015).

Obecnie konserwowanie żywności staje się koniecznością, ponieważ uprawy i miejsca zamieszkania dzielą często duże odległości, a sezonowość upraw w różnych częściach świata powoduje, że konieczny jest długi łańcuch dostaw żywności. Szacunkowe straty wynikające z takiego stanu rzeczy to ok. 30%, co wywołuje

konieczność poszukiwania nowych rozwiązań zabezpieczania żywności przed zepsuciem (Molenda, 2007).

edną z metod zabezpieczania żywności jest pasteryzacja niechemiczna wykorzystująca oddziaływanie wysokiego ciśnienia hydrostatycznego, które polega na poddaniu żywności wysokiemu ciśnieniu w specjalnych komorach, co powoduje zabijanie drobnoustrojów. Na podstawie wyników badań, których celem było przeciwdziałanie kwaśnemu zepsuciu w produktach posiadających niską zawartość białka, takich jak soki owocowe czy dżemy, wykazano, że metoda ta niszczy głównie mikroflorę grzybów, drożdży, oraz drobnoustrojów (Knorr, 1993; Barbosa-Cánovas i in., 2000). Aktualnie prowadzi się badania nad możliwościami wykorzystania wysokiego ciśnienia w metodach nietermicznej pasteryzacji. Wyniki tych badań wskazują, że działanie tego czynnika pasteryzacji jest niewystarczające do zniszczenia wszystkich patogenów, ponadto skuteczność tej metody zależy w dużym stopniu od rodzaju żywności, w której dany drobnoustrój był obecny (Knorr, 1993; Barbosa-Cánovas i in., 2000).

Równie często wykorzystywaną metodą pasteryzacji jest stosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF, z ang. *Pulse Electric Field*), która polega na poddaniu produktów krótkotrwałym impulsom elektrycznym o wysokiej intensywności, dzięki czemu dochodzi do uszkodzenia błon komórkowych bakterii. Impulsowe działanie prądu powoduje wytworzenie znacznej różnicy potencjałów wewnątrz błony cytoplazmatycznej (Naliyadhara i in. 2022). Jeżeli osiągnięta zostaje krytyczna dla danej błony wartość, wówczas następuje jej uszkodzenie. Proces ten jest odwracalny jeżeli występuje na niewielkim obszarze. Indukowanie prądu osiągającego krytyczną wartość prowadzi do powiększenia się liczby zmian w strukturze i błonie cytoplazmatycznej, co skutkuje mechaniczną destrukcją błony i w konsekwencji śmiercią komórki. Kluczowe dla powodzenia procesu jest intensywność impulsów oraz zastosowane napięcie (Naliyadhara i in., 2022). Stosowanie tej metody umożliwia redukcję drobnoustrojów o ok. 2,5 do 5 rzędów, ponadto nie powoduje utraty składników żywności i zachowuje jej cechy organoleptyczne.

Metodą konserwacji żywności wolną od stosowania środków chemicznych jest suszenie, które pozwala zredukować masę i objętość utrwalanego materiału, co jest istotne w aspekcie logistycznym. Wysuszonym produktom łatwo nadać formę

sproszkowaną, która ułatwia ich wykorzystanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym lub kosmetycznym. Jednak wadą suszenia jest skurcz wpływający negatywnie na teksturę produktu przeznaczonego do bezpośredniego spożycia, duża energochłonność procesu oraz ryzyko negatywnych zmian chemicznych spowodowanych niewłaściwym doбором metody lub parametrów suszenia. Decydując się na wykorzystanie suszenia do utrwalania surowców pochodzenia roślinnego należy zadbać o wybór odpowiedniej metody i zastosowanie optymalnych parametrów, aby uzyskać produkt o wysokiej jakości przy możliwie niskich nakładach energetycznych.

4.4. Suszenie surowców pochodzenia roślinnego

Jednym z najczęściej stosowanych i najtańszych sposobów usuwania wody z surowca roślinnego jest suszenie konwekcyjne, które polega na owiewaniu materiału czynnikiem suszącym (powietrzem) z określoną prędkością i temperaturą. Parametry suszenia konwekcyjnego powinno dobierać się na podstawie rodzaju surowca, sposobu jego przygotowania, kształtu i oczekiwanych właściwości produktu końcowego (Baranowski i in., 2009; Górnaś i in., 2016; Deng i in., 2018; Kumar i in., 2018). Gorące powietrze owiewające materiał umożliwia usuwanie wody w pierwszej kolejności z zewnętrznej warstwy materiału, co prowadzi do powstania twardej struktury na jego powierzchni. Zjawisko to, utrudnia odparowywanie wody z wnętrza materiału, co w efekcie prowadzi do wydłużenia czasu suszenia (Mahiuddin i in., 2018). Wydłużony czas suszenia wpływa na pogorszenie jakości końcowej produktu w stosunku do produktów otrzymanych przy użyciu innych sposobów suszenia.

Poważną wadą suszenia konwekcyjnego jest skurcz materiału sięgający nawet do 80%. Utrata wody, a także oddziaływanie strumienia ciepła powoduje powstanie naprężeń w strukturze komórkowej materiałów biologicznych, prowadzących do powstania deformacji kształtu w porównaniu do kształtu świeżej próbki (Tsuruta, Tanigawa i Sashi, 2015). Pod wpływem nierównomiernego ogrzewania materiału w trakcie suszenia mogą wystąpić lokalne pęknięcia w strukturze materiału, co dodatkowo przyczynia się do pogorszenia jakości końcowej i ograniczenia zdolności rehydratacji wysuszonego produktu (Mayor i Sereno 2004; Hatamipour i Mowla 2002). Istnieje kilka modeli empirycznych, które opisują zjawisko skurczu suszarniczego. Kilka z nich opracował Kowalski (1996), który wyznaczył skurcz jako zmianę objętości próbki w zależności od jej wilgotności.

Jednym z bardziej zaawansowanych technologicznie, ale także droższych sposobów suszenia, głównie z uwagi na koszty inwestycyjne i konieczność zasilania energią elektryczną, jest proces wykorzystujący mikrofalę przy obniżonym ciśnieniu (suszenie mikrofalowo-próżniowe). Takie warunki suszenia sprzyjają intensywności usuwania wody. Mianowicie, usuwanie wody z suszonego materiału następuje nie tylko w wyniku dyfuzji zgodnie z drugim prawem Ficka, ale także pod wpływem tzw. efektu Darcy'ego będącego rezultatem znacznej różnicy ciśnień panujących wewnątrz i na zewnątrz materiału (Figiel, 2010). Ponadto, dzięki obniżonemu ciśnieniu zewnętrznemu temperatura parowania wody z powierzchni materiału jest znacznie niższa od temperatury parowania wody przy ciśnieniu atmosferycznym. Istnieje wiele badań potwierdzających możliwość uzyskania niższych wartości temperatur suszonego materiału, przy znacznie skróconym czasie trwania procesu w porównaniu do suszenia konwekcyjnego (Michalska i in., 2016; Michalska i in., 2017; Nistor i in., 2017). Krótszy czas trwania procesu oraz kształtowanie się porowatej struktury materiału jest konsekwencją zjawiska „puffingu”, które powstaje w efekcie intensywnego odparowania wody z wnętrza materiału pod wpływem dużego gradientu ciśnień towarzyszącego suszeniu mikrofalowo-próżniowemu. Skrócenie czasu suszenia jest istotne podczas kształtowania właściwości produktu końcowego obejmujących m. in. barwę, teksturę oraz retencję związków bioaktywnych (Górnaś i in., 2016; Deng i in., 2018; Kumar i in., 2018). Przełomem w zakresie badań suszarniczych było zastosowanie połączenia różnych sposobów suszenia, np. konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego (Figiel, 2010). Zakłada ono poduszanie konwekcyjne materiału w danej temperaturze przez czas trwania I okresu suszenia, w którym szybkość suszenia jest największa – oraz dosuszanie mikrofalowo-próżniowe skracające czas trwania II okresu suszenia konwekcyjnego nawet 10-krotnie. Dzieje się tak dzięki efektywnemu usuwaniu wody z wnętrza materiału podczas dosuszania mikrofalowo-próżniowego, poprzez dyfuzję wspomaganą efektem Darcy'ego i uniknięciu powstawania twardych struktur w trakcie suszenia konwekcyjnego (Mahiuddin i in., 2018). Poza tym, proces dosuszania stwarza możliwość polepszenia struktury materiału przez wymienione wyżej zjawisko „puffingu”. Mianowicie, efekt ten pozwala na uzyskaniu kruchej tekstury, która jest korzystniejsza niż ta powstała pod wpływem skurczu suszarniczego (Feng i in., 2021).

Zachowaniu większości właściwości wizualnych i fizykochemicznych świeżego materiału sprzyja stosowanie suszenia sublimacyjnego (liofilizacji). w trakcie tego

procesu usuwania wody odbywa się na drodze sublimacji fazy stałej (lodu), dzięki czemu pomija się proces odparowania wody z fazy ciekłej. Niestety, koszty inwestycji i eksploatacji instalacji liofilizacyjnej, a także relatywnie długi czas trwania procesu (ok. 24 h) sprawiają, że wciąż stosowanie tego sposobu suszenia nie jest powszechne mimo uzyskiwania doskonałej jakości wysuszonych produktów. Wykorzystując tańsze sposoby suszenia, które łączy się ze sobą optymalizując parametry procesowe, można uzyskać wysoką zawartość związków polifenolowych w produktach konkurencyjnych w stosunku do produktów otrzymanych przy użyciu liofilizacji. Zastosowanie suszenia konwekcyjnego w połączeniu z suszeniem mikrofalowo-próżniowym pozwala uzyskać produkty owocowo-warzywne, które mogą być konkurencyjne do suszenia sublimacyjnego pod względem zawartości związków bioaktywnych, a także otrzymanej struktury (Wojdyło, Lech i Nowicka, 2020; Ando i Nei, 2023).

Zachowanie właściwości fizykochemicznych typowych dla świeżego surowca można również zapewnić poprzez stosowanie dodatków funkcjonalnych, które dzięki bogatemu składowi substancji bioaktywnych wzbogacają produkt końcowy. Ponadto, korzystny wpływ na skład chemiczny wysuszonego produktu ma zastosowanie obróbki wstępnej. Do tego rodzaju obróbki można zaliczyć odwadnianie osmotyczne w roztworach o wysokiej zawartości witamin lub związków polifenolowych wzbogacające produkt końcowy w substancje zaabsorbowane z tych roztworów.

4.5. Dodatki funkcjonalne pochodzenia roślinnego

Po raz pierwszy określenia „żywność funkcjonalna” użyto w Japonii przy realizacji programu – FOSHU (z ang. Foods For Specified Health Uses) i zdefiniowano je jako żywność zawierającą dodatkowe składniki ponad odżywcze, które wywołują prozdrowotny efekt określonych funkcji organizmu ludzkiego (Błaszczak i Grzeškiewicz, 2014). Produkt może być uznany jako żywność funkcjonalna jeśli zostanie przebadany naukowo (Ramalingum i Mahomoodally, 2014). Żywność funkcjonalna jest to żywność zawierająca dodatek składników bioaktywnych, które przy dłuższym i regularnym spożyciu wywołują pożądany efekt stymulujący „uzdrawiającą” pracę wybranych funkcji w organizmie człowieka, np. układu pokarmowego, immunologicznego czy krążenia (Alissa i Ferns, 2012; Arauna i in., 2019; McClements i Xiao, 2017).

Istnieje kilka koncepcji produkcji żywności funkcjonalnej, które opierają się na zastosowaniu odpowiedniej technologii. Jedną z nich zakłada dodatek składnika, który nie występuje naturalnie w surowcach zastosowanych do wytworzenia produktu. Takie rozwiązanie występuje w badaniach nad wpływem dodatku błonnika oraz związków polifenolowych pozyskanych z wyłoków z czarnej porzeczki do chlebów, ciast, ciastek, czy ekstrudowanych przekąsek na zwiększenie biodostępności błonnika i poprawę wartości odżywczych w tych produktach (Rohm i in., 2015). Ponadto, autorzy podkreślają istotę redukcji odpadów pochodzących z przetwórstwa owocowego i w związku z tym opracowują i doskonalą w tym zakresie model innowacyjnego transferu cennego składnika zawartego w materiale odpadowym do żywności. Korzyści wynikające z podjęcia takich działań mogą się przyczynić do poprawy zarówno stanu i jakości środowiska, ale także do zwiększenia spożycia i produkcji żywności wzbogacanej w związki bioaktywne.

Produkcja żywności funkcjonalnej może opierać się również na modyfikacji zawartości i proporcji naturalnych składników znajdujących się w produkcie. Okazuje się, że w procesie suszenia może następować redukcja lub transformacja niektórych związków chemicznych zawartych w świeżym surowcu pod wpływem temperatury lub oddziaływania mikrofal. Podwyższona temperatura, redukując zawartość związków termolabilnych, prowadzi także do formułowania się tzw. produktów reakcji Maillarda, które mogą mieć pozytywne lub negatywne znaczenie dla zdrowia człowieka (Toda i in., 2019). Należy zatem prowadzić proces suszenia w ten sposób, aby sprzyjać powstawaniu związków zwiększających zdolność zmiatania wolnych rodników i ograniczać formowanie się związków niepożądanych, takich jak akrylamid lub hydroksymetylofurfural (HMF). z drugiej strony zastosowanie mikrofal nie tylko znacznie skraca czas procesu i tym samym czas oddziaływania termicznego, ale także sprzyja reakcjom syntezy (Peng i in., 2011). Oprócz technologii suszenia i paramaterów procesowych, zastosowanie dodatków w postaci składników funkcjonalnych do surowca może mieć także na celu poprawę biodostępności substancji odżywczych o prozdrowotnym działaniu zawartych w produkcie (Paz i in., 2015; Ivanova, Kolman i Nikulina, 2021; Sabina Lachowicz i in., 2020). Zwiększeniu funkcjonalności produktu spożywczego służy również wyeliminowanie lub zmniejszenie zawartości cukru, tłuszczu czy glutenu, które są negatywnie postrzegane przez wielu konsumentów.

4.6. Wybrane parametry jakościowe produktów suszonych

Zastosowany sposób suszenia i parametry procesowe tj. temperatura i prędkość przepływu czynnika suszącego, moc magnetronów, czy czas procesu mogą wpływać na kinetykę suszenia oraz ukształtowanie się właściwości wysuszonego materiału. z tych przyczyn produkty uzyskane z surowców roślinnych na drodze suszenia są poddawane wybranym analizom w celu wyznaczenia ich parametrów jakościowych opisywanych najczęściej za pomocą właściwości fizycznych i chemicznych. Poniżej przedstawiono wybrane parametry jakościowe.

Zawartość suchej substancji i kinetyka suszenia

Wyznaczanie zawartości suchej substancji jest podstawową badaną właściwością w odniesieniu do produktów żywnościowych, zwłaszcza w sektorze żywności suszonej. Doniesienia literaturowe określają tę właściwość jako masę substancji, która jest pozbawiona wody, uzyskiwanej w procesie suszenia w temperaturze powyżej 100°C, do momentu ustabilizowanie się pomiaru masy (Borawska i in., 2014). Pomiar zawartości suchej substancji w materiale może być przeprowadzony z wykorzystaniem różnych sposobów suszenia, np. konwencjonalnie lub próżniowo. Warto dodać, że podczas pomiaru zawartości suchej substancji wraz z wodą usuwane są też inne substancje zawarte w suszonym materiale, np. kwasy, estry czy alkohole.

Na podstawie zawartości suchej substancji łatwo wyznaczyć zawartość wody w badanych próbkach co umożliwi wykreślenie kinetyki suszenia. Kinetyka suszenia przedstawia spadek zredukowanej zawartości wody (MR) w funkcji czasu (t). Drugie prawo dyfuzji Ficka jest szeroko stosowane do opisu transferu masy przez dyfuzję, gdy suszenie produktów biologicznych odbywa się z malejącą szybkością suszenia charakterystyczną dla II okresu suszenia. Do punktów pomiarowych przedstawiających spadek zredukowanej zawartości wody w zależności od czasu suszenia dopasowywane są formuły matematyczne zwane modelami suszarniczymi. Przebieg kinetyki suszenia może mieć różny charakter w zależności od sposobu suszenia, zastosowanych parametrów oraz rodzaju i struktury suszonego materiału. Na przykład struktura mięszu dyni jest na ogół jednorodna (Lech i in., 2018), podczas gdy wyłoki z owoców

jagodowych mają złożoną strukturę, w której znajdują się resztki mięszu, skórki i nasionka (Deng i in., 2018).

Aktywność wody

Termodynamicznym wyznacznikiem chemicznego potencjału wody jest jej aktywność oraz dostępność dla mikroorganizmów. Woda ma kluczowy wpływ na reakcje zachodzące w żywności. Aktywność wody danego produktu definiowana jest jako stosunek ciśnienia pary wodnej nad produktem do ciśnienia pary wodnej nad czystą wodą (1), przy czym konieczne jest zachowanie stałej temperatury (Pałacha, 2008).

$$a_w = \left[\frac{p}{p_0} \right]_{p,T} \quad (1)$$

gdzie:

p - ciśnienie pary wodnej nad produktem,

p₀ - ciśnienie pary wodnej nad czystą wodą.

Wartości pomiarów mieszczą się w przedziale od 0 do 1, przy czym wartość 1 dotyczy wody, natomiast wartość 0 środowiska bezwodnego, lub z występującą jedynie wodą strukturalną. Trwałość produktów spożywczych zależy głównie od aktywności wody, aby ją przedłużyć należy regulować ten parametr. Można tego dokonać za pomocą:

- dodawania substancji o charakterze osmoaktywnym,
- usuwania wody,
- jednoczesnego odwadniania i dodawania substratów, które powodują wzrost ciśnienia osmotycznego.

Wpływ aktywności wody na trwałość żywności obrazuje mapa stabilności żywności. Przedstawia ona zależność kinetyki procesów, ich przebieg i reakcje od aktywności wody. Stabilność żywności ukazana na tej mapie obrazuje znaczenie obecności wody w strukturze produktu spożywczego (Pałacha, 2008).

Reakcje chemiczne zachodzące w żywności mają znaczący wpływ na jej jakość i trwałość. Polegają one na utlenianiu tłuszczów, brunatnieniu nieenzymatycznym, degradacji wartościowych składników, takich jak witaminy barwniki i substancje zapachowe. Aktywność wody zmienia właściwości fizyczne produktów, wpływa na

teksturę, a co za tym idzie powoduje krystalizację, rozpuszczenie składników oraz przejście szkliste. Przejście ze stanu krystalizacji w stan szklisty odbywa się przy aktywności wody na poziomie 0,3-0,5. w przypadku produktów ubogich w wodę, jej dodatek pełni funkcję uplastyczniającą, powoduje obniżenie temperatury zeszklenia i zwiększa elastyczność. Przy niskiej aktywności wody składniki występujące w produktach posiadają postać krystaliczną lub amorficzną. Największa stabilność produktów występuje wtedy, gdy aktywność wody jest najbardziej zbliżona do zawartości wody w monowarstwie i wynosi 0,07-0,35. Produkty takie posiadają wilgotność na poziomie od 2 do 15% (Pałacha, 2008). Aktywność wody ma istotny wpływ na zapach, konsystencję, wygląd i smak produktu spożywczego. Odpowiednio kontrolując poziom aktywności można uzyskać wysoką jakość żywności, minimalizując w niej zawartość konserwantów. Aktywność wody odgrywa zatem kluczową rolę w kształtowaniu jakości, zarówno produktów spożywczych, farmaceutycznych, jak i kosmetycznych (Kowalska i in., 2011).

Gęstość właściwa i nasypowa

Dobór odpowiedniego procesu technologicznego powinien uwzględnić właściwości oraz cechy determinujące końcową jakość i wartość otrzymanego produktu. Znajomość właściwości fizycznych i chemicznych pozwala nie tylko na określenie jakości, ale także przydatności i wartości odżywczej. Najczęściej badaną właściwością fizyczną jest gęstość. Pozwala ona określić przydatność produktu spożywczego na poziomie technologicznym. Gęstość wyrażana jest jako stosunek masy (m) do objętości (V) (2) (Łatka, 2003):

$$\rho = m \cdot V^{-1} \quad (2)$$

Gęstość produktów zależy od zawartości suchej substancji (s.s) i temperatury (T). Ta zależność nie jest jednoznaczna, ponieważ zawartość suchej substancji ma wpływ kilkukrotnie większy niż temperatura. Wiele produktów spożywczych posiada gęstość zbliżoną do gęstości wody mieszczącą się przedziale 800-1000 kg·m⁻³ (Niesteruk, 1999). W produktach mających postać proszków niezwykle istotne znaczenie ma wyznaczenie takich właściwości fizycznych jak: dozowność, sypkość oraz gęstość nasypowa. Gęstość nasypowa jest parametrem definiowanym jako stosunek masy luźno usypanego proszku do objętości, którą dany materiał zajmuje. Gęstość nasypowa jest nazywana także gęstością luźną. Ma ona znaczący wpływ na wielkość matrycy używanej

do prasowania proszku. w zależności od zajmowanej objętości przez proszek o określonej masie można mówić o gęstości mniejszej i większej: im większą objętość zajmuje proszek tym jego gęstość nasypowa jest mniejsza. Pomiary gęstości nasypowej dokonuje się zgodnie z perzyjętymi normami za pomocą wolumetru Scotta (PN-EN-23923-2, ISO 3923-2) lub lejka Halla (PN-EN-23923-1, ISO 3923-1). Parametr ten pozwala określić stopień wypełnienia opakowania produktem sypkim. Właściwość ta jest niezbędna do określenia charakterystyki produktów i zależy od upakowania cząsteczek. Aby poprawić upakowanie stosuje się ubijanie, przy czym taki proces powoduje wypełnienie przestrzeni między większymi cząsteczkami, cząsteczkami mniejszymi. Pozwala to uzyskać lepsze upakowanie w tej samej objętości. Takie upakowanie cząsteczek nazywa się gęstością utrzesioną (Domian, 2005).

Barwa

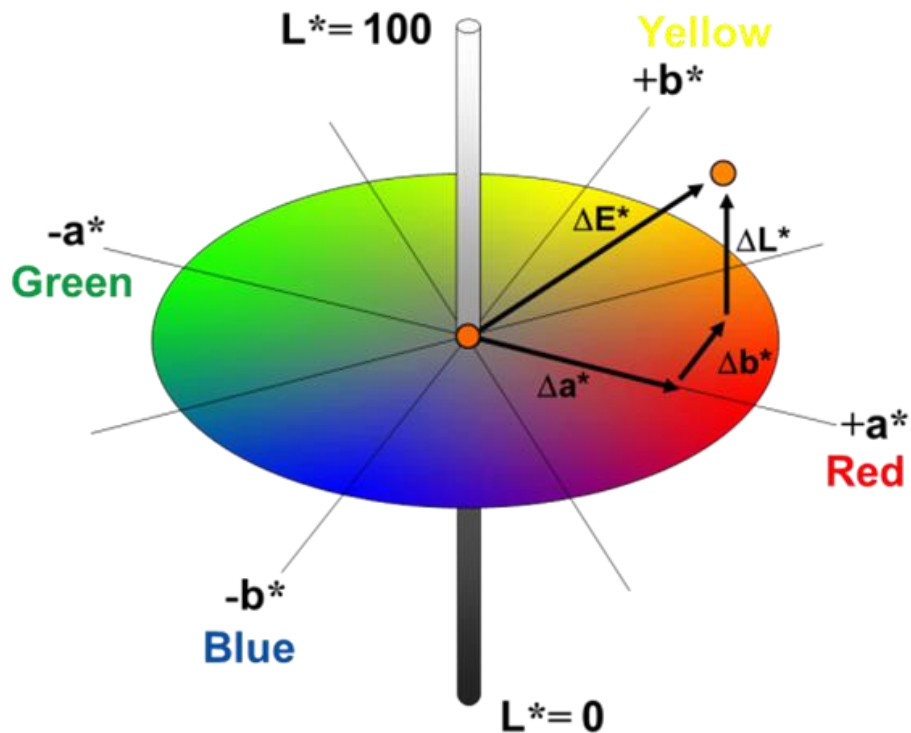
Parametrem wpływającym w istotny sposób na końcową jakość suszonych produktów jest barwa. Technika komputerowa i opracowana technologia pozwalają na precyzyjne określenie poszczególnych parametrów barwy. Śledzenie zmian parametrów barwy umożliwia kontrolę nad przebiegiem procesu suszenia. (Łapczyńska-Kordon i Krzysztofik, 2008). Model barw CIE Lab utworzony przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową pozwala na określenie fizycznej przestrzeni odniesienia, na której bazują i są odtwarzane inne modele. Model wykorzystuje trójchromatyczny układ percepcji, CIE 1931 XYZ. w modelu CIE Lab, określanych jest kilka bazowych parametrów:

L^* - poziom jasności barwy (0-100); 0 – barwa biała, 100 – barwa czarna.

a^* - wartości dodatnie i ujemne (określenie barw od zieleni do czerwieni),

b^* - wartości dodatnie i ujemne (określenie barw od niebieskiego do żółtego).

(Rys.1).



Rysunek 1. Model barw w przestrzeni CIE $L^*a^*b^*$.
 Źródło: <https://www.tequipment.net>

Zawartość polifenoli ogółem

Jedną z metod ilościowego oznaczania zawartości polifenoli w produktach spożywczych jest pomiar metodą Folina-Ciocalteu, który wykorzystuje zdolność związków polifenolowych do barwnych reakcji z odczynnikiem Folina-Ciocalteu (Ainsworth i Gillespie, 2007). Przy użyciu spektrofotometru przeprowadza się pomiar absorbancji przy długości fali, zależnej od rodzaju produktu, między 725 a 784 nm, a najczęściej przy 760 nm (Siddiqui i in., 2017). Pomiar zawartości polifenoli z wykorzystaniem tej metody stosuje się zazwyczaj dla roślin, ziół, owoców, warzyw, a nawet czekolady. Analiza ogólnej zawartości polifenoli wykonywana metodą Folina-Ciocalteu jest często stosowana jako standardowa metoda w rutynowej kontroli jakości produktów spożywczych (Ainsworth i Gillespie, 2007). Przede wszystkim metodę tę wykorzystuje się z uwagi na prostotę wykonania analizy, możliwość uzyskania wyników w relatywnie krótkim czasie oraz ze względu na fakt, iż jest to znacznie tańsza metoda niż np. z wykorzystaniem HPLC czy UPLC (Martins i in., 2021).

Identyfikacja polifenoli UPLC

Ultrasprawa chromatografia cieczowa (UPLC, z ang. *ultra performance liquid chromatography*) – kolumnowa – jest coraz częściej wykorzystywaną analizą stosowaną do badania czystości oraz identyfikacji i oceny ilościowej związków chemicznych (w tym polifenoli) z uwagi na wydajność chromatograficzną i czułość analizy w stosunku do najpowszechniej stosowanej techniki analitycznej HPLC (z ang. *high-performance liquid chromatography*). Analiza UPLC stosuje nawet 10-krotnie wyższe ciśnienie niż w technice analitycznej HPLC przy niższych przepływach, osiągające wartość ponad 100 atm, co pozwala na skrócenie czasu trwania analizy (Snyder i Kirkland, 1979; Glinka i in., 2017).

Analiza UPLC przeprowadzana przy użyciu chromatografu polega na chromatograficznym rozdzielaniu poszczególnych związków chemicznych. Wykorzystany przy tym jest fakt, że badane próbki w różnym stopniu ulegają podziałowi na dwie niemieszające się ze sobą fazy. Pierwsza faza nazwana jest ruchomą (tzw. eluent/rozpuszczalnik) i może nią być ciecz, gaz lub płyn w stanie nadkrytycznym (Snyder i Kirkland, 1979). Na tej podstawie chromatografia jest nazywana odpowiednio: cieczową (LC), gazową (GC) i chromatografią z płynem w stanie nadkrytycznym (SFC). Druga faza jest nieruchoma (tzw. stacjonarna), którą stanowi wypełnienie kolumny chromatograficznej. Wynikiem analizy jest chromatogram, czyli graficzny zapis wyniku rozdzielania (Glinka i in., 2017).

Aktywność przeciwutleniająca

Potencjał antyoksydacyjny ekstraktów owocowych i warzywnych można oznaczać kilkoma metodami, np. TEAC ABTS, FRAP lub DPPH. w niniejszej pracy dla wybranych surowców oznaczano aktywność przeciwutleniającą za pomocą TEAC, ABTS i FRAP.

W przypadku pomiaru aktywności przeciwutleniającej metodą TEAC albo ABTS, proces polega na generacji kationu rodnika ABTS [2,2'-azinobis-(kwas-3-etylobenzotiazolino-6 sulfonowy)], który jest podstawą pomiaru spektrofotometrycznego dającego informację o całkowitej aktywności przeciwutleniającej roztworów czystych substancji, mieszanin wodnych czy napojów (Miller i in., 1996). w wyniku reakcji między ABTS, a nadsiarczanem potasu powstaje niebiesko-zielony chromofor ABTS^{•+}. Maksima absorpcji występują przy długości fali 415 nm, 645 nm,

734 nm i 815 nm. Po dodaniu przeciwutleniaczy do roztworu kationorodnikowego następuje odbarwienie, które należy interpretować jako procentowe zahamowanie kationu rodnikowego $ABTS^{•+}$ określane w funkcji stężenia i czasu w stosunku do reaktywności substancji Trolox będącej wzorcem. Porównanie stopnia wybarwienia i wykonanie stosownych przeliczeń daje informacje na temat zdolności antyoksydacyjnej fenoli lub karotenoidów (Re i in., 1999).

Aktywność przeciwutleniająca oznaczana metodą spektrofotometryczną FRAP opiera się na określeniu zdolności redukowania jonów żelaza komórek, tkanek albo materiałów biologicznych. w tej metodzie pomiar redukcji kompleksu żelazowo-2,4,6-tripirydylo-S-tiazyny (TPTZ) następuje w obecności przeciwutleniacza, tworząc reakcję o niebieskim zabarwieniu produktu (Benzie i Strain, 1996; Cybul i Nowak, 2008). Aktywność przeciwutleniającą określa się na podstawie porównania zmian absorpcji badanej próbki z substancją wzorcową – roztwór Fe (II), a maksima absorpcji występują przy długości fali 593-595 nm. Jednostka FRAP opisuje zdolność redukcji 1 mola Fe^{3+} do Fe^{2+} (Wilczyńska, 2009). Metoda pomiaru aktywności przeciwutleniającej FRAP jest stosunkowo szybką i tanią analizą, a otrzymane wyniki są powtarzalne (Cybul i Nowak, 2008).

5. HIPOTEZY BADAWCZE i CEL PRACY

Hipotezy badawcze

Na podstawie przeglądu literatury oraz wyników dotychczasowych badań sformułowano następujące hipotezy badawcze:

H1: Temperatura powietrza w suszeniu konwekcyjnym oraz moc mikrofal w suszeniu mikrofalowo-próżniowym wpływając na przebieg reakcji Maillarda decydują o potencjale bioaktywnym wycieków z owoców lub warzyw.

H2: Potencjał bioaktywny kompozycji na bazie wycieków, stanowiących odpad w procesie tłoczenia soku, można zwiększyć poprzez ich suszenie z dodatkiem funkcjonalnym w postaci owoców odwadnianych osmotycznie w soku z aronii.

H3: Suszenie wycieków z buraka ćwikłowego w kompozycji z cząstkami miększu umożliwia ich waloryzację i sprzyja zwiększeniu szybkości suszenia przez powstanie złoża o porowatej budowie wynikającej z różnicy struktury wycieków i cząstek miększu.

Założenie do H3: Wycieki z buraka ćwikłowego mają mniejszy potencjał bioaktywny, wyrażony zawartością polifenoli i pojemnością przeciwutleniającą, niż otrzymany z nich sok w przeciwieństwie do tych warzyw i owoców, których zewnętrzne tkanki, wchodzące w skład wycieków, są wyeksponowane na korzystne działanie promieni słonecznych.

H4: Podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego kompozycji na bazie wycieków z buraka z dodatkiem kostek z buraków lub jabłek, czas suszenia ulegnie skróceniu z uwagi na akumulację ciepła generowanego przez mikrofały w kostkach, stanowiących dodatkowe źródło ciepła dla wycieków.

H5: Odmiana jest istotnym czynnikiem wpływającym na potencjał bioaktywny suszu z wycieków owocowych z uwagi na różnice dotyczące budowy morfologicznej i składu chemicznego owoców danego gatunku.

Cel pracy

Celem pracy było wyznaczenie wpływu parametrów procesowych i obecności dodatków funkcjonalnych na kinetykę suszenia oraz wybrane właściwości fizyczne i chemiczne materiałów odpadowych przemysłu owocowo-warzywnego utrwalonych przy użyciu innowacyjnych technik suszarniczych. Realizacja tego celu wymagała

podjęcia współpracy z Katedrą Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, gdzie można było wykonać badania zawartości związków polifenolowych oraz aktywności przeciwutleniającej wyłoków owocowych i warzywnych oraz uzyskanego z nich suszu w postaci sproszkowanej.

Zadania badawcze

Osiągnięcie celu pracy wymagało realizacji następujących zadań badawczych:

1. Zbadanie wpływu odwadniania osmotycznego ćwiartek owoców żurawiny, stanowiących dodatek funkcjonalny do wyłoków owocowych, na czas suszenia i zawartość związków bioaktywnych w wysuszonym produkcie.
2. Wyznaczenie wpływu dodatku funkcjonalnego w postaci kostek z buraka ćwikłowego i jabłka do wyłoków z buraka ćwikłowego na przebieg procesu suszenia i jakość otrzymanego produktu.
3. Zbadanie wpływu mikrofal na czas suszenia i kształtowanie się zjawiska „puffingu” w kostkach z buraka ćwikłowego i jabłka.
4. Wskazanie najkorzystniejszego sposobu suszenia odpadów owocowo-warzywnych, który pozwoli uzyskać susz o najkorzystniejszych właściwościach fizyko-chemicznych, tj. aktywności wody, gęstości, porowatości, barwy, a także zawartości związków polifenolowych ogółem i aktywności przeciwutleniającej.

Ponadto, podczas realizacji pracy doktorskiej powstały dwie publikacje związane z tematem niniejszej pracy:

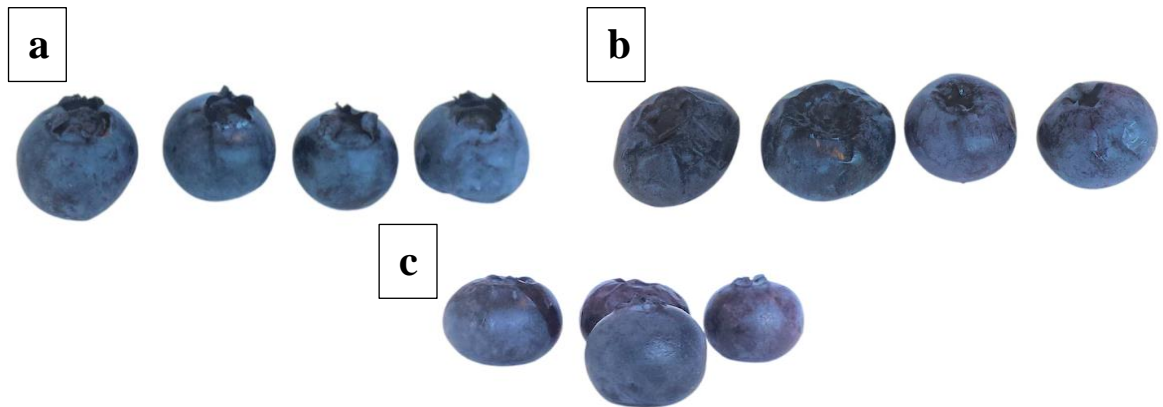
- 1) **Majerska, J.**, Michalska, A. & Figiel, A. (2019). a review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 207–219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
- 2) **Majerska, J.**, Zimmer, A. & Figiel, A. (2023). Valorization of dried beetroot pomace in terms of dried product quality and energy consumption of the drying proces – w TŁUMACZENIU.

6. MATERIAŁ i METODYKA BADAŃ

6.1. Materiał badawczy

Materiał do badań stanowiły wytloki z owoców:

- **borówki amerykańskiej** (*Vaccinium corymbosum* L.) trzech odmian (rys. 2):
‘Bluejay’ (a), ‘Bluecrop’ (b) i ‘Berkley’ (c),



Rysunek 2. Owoce borówki amerykańskiej, odmiana: a – Bluejay, b – Bluecrop, c – Berkley.

- **żurawiny** (*Vaccinium macrocarpon* L.) odmiany ‘Pilgrim’ (rys. 3)



Rysunek 3. Owoce żurawiny odmiany ‘Pilgrim’.

Oprócz tego w badaniach wykorzystano wycłoki warzywne z **buraka ćwikłowego** (*Beta vulgaris* L.) odmiany 'Alto' (rys. 4).



Rysunek 4. Korzenieburaka odmiany 'Alto'.

Wycłoki z owoców pozyskano poprzez ich dokładne rozdrobnienie do postaci pulpy (80°C, 10 min; Thermomix, Wuppertal, Vorwerk, Germany), a następnie poddano działaniu prasy hydraulicznej, w efekcie otrzymując także soki, które wykorzystano do innych badań.

W przypadku wycłoków z buraka surowiec przed tłoczeniem rozdrobniono na szatkownicy elektrycznej i w takiej formie poddano działaniu prasy hydraulicznej.

Uzyskane wycłoki mrożono (-20°C) w celu skutecznego zabezpieczenia przed zmianami mikrobiologicznymi. Założono przy tym, że proces mrożenia prowadzący do zwiększenia objętości kryształów wody (Kowalska i in., 2018; Sun i in., 2019) spowoduje także zmiany strukturalne w materiale, które przez zwiększenie porowatości i rozluźnienie struktury komórkowej korzystnie wpłyną na przebieg suszenia.

Ponadto w poszczególnych etapach badań zastosowano **dodatki funkcjonalne** w postaci:

- **ćwiartek owoców żurawiny** (*Vaccinium macrocarpon*) odmiany 'Pilgrim'
- **kostek buraka** (*Beta vulgaris* L.) odmiany 'Alto',
- **kostek jablek** (*Malus domestica*) odmiany 'Ligol'.

Owoce żurawiny i kostki jablek oraz buraków stanowiły dodatki funkcjonalne, które wprowadzono do wybranych wycłoków w wybranych proporcjach. w przypadku owoców

żurawiny zastosowano dodatkowo obróbkę wstępną w postaci odwadniania osmotycznego tych owoców w soku z aronii. Obróbka wstępna miała na celu zwiększenie zawartości polifenoli w kompozycji z wyciekami żurawiny.

Funkcjonalność dodatków miała polegać nie tylko na suplementacji potencjału bioaktywnego, ale przede wszystkim na działaniu strukturotwórczym sprzyjającym zwiększeniu porowatości uzyskanych kompozycji wynikającym z różnic w kurczeniu się wycieków oraz kostek i owoców podczas suszenia. Proces przygotowania próbek do suszenia został opisany w podrozdziale 6.2.1. *Przygotowanie materiału do suszenia.*

6.2. Metodyka badań

Z uwagi na różnorodność wybranych surowców, dodatków funkcjonalnych, zastosowanej obróbki wstępnej, warunków suszenia oraz wykonywanych analiz parametry procesowe zostały przedstawione w Tabeli 1 i 2. Należy przy tym wyjaśnić, że warunki suszenia obejmują zastosowaną **obróbkę wstępną przed suszeniem** – odwadnianie osmotyczne owoców żurawiny, udział procentowy dodatków funkcjonalnych (owoce żurawiny, odwadniane owoce żurawiny, kostki z jabłka i buraka) w kompozycjach z wyciekami (z żurawiny i buraka), a także **sposób suszenia** i odpowiadające temu sposobowi **parametry procesowe** tj. temperatura i stężenie roztworu osmotycznego, temperatura i prędkość czynnika suszącego, moc magnetronów czy też czas trwania suszenia kombinowanego polegającego na połączeniu różnych metod i czasu odwadniania osmotycznego. w tabelach zastosowano następujące oznaczenia: AP – wycieki z jabłka, BA – wycieki z borówki amerykańskiej, BP – wycieki z buraka, CP – wycieki z żurawiny, BC – kostki z buraka, CF – ćwiartki owoców żurawiny, FD – suszenie sublimacyjne, CD – suszenie konwekcyjne, CPD – podsuszanie konwekcyjne, FMVD – dosuszanie mikrofalowo – próżniowe, MVD – suszenie mikrofalowo – próżniowe, OD – odwadnianie osmotyczne; liczby za symbolami oznaczają zawartość procentową.

Tabela 1. Surowce, dodatki funkcjonalne, rodzaj obróbki wstępnej i stworzone warianty kompozycji przedstawione w monografii lub publikacjach uzupełniających pracę doktorską

surowiec	dodatek funkcjonalny	obróbka wstępna dodatku	warianty kompozycji	
wytłoki z żurawiny (CP)	ćwiartki żurawiny (CF)	odwadnianie osmotyczne w soku z aronii OD ARO (CFOD)	CP CF CP95 CF5 CP90 CF10 CP80 CF20 CP70 CF30	CFOD CP95 CFOD5 CP90 CFOD10 CP80 CFOD20 CP70 CFOD30
wytłoki z buraka (BP)	kostki z buraka (10 x10mm) (BC) i jabłka (AC)	-		BP BC 50BP-50BC 50BP-50AC

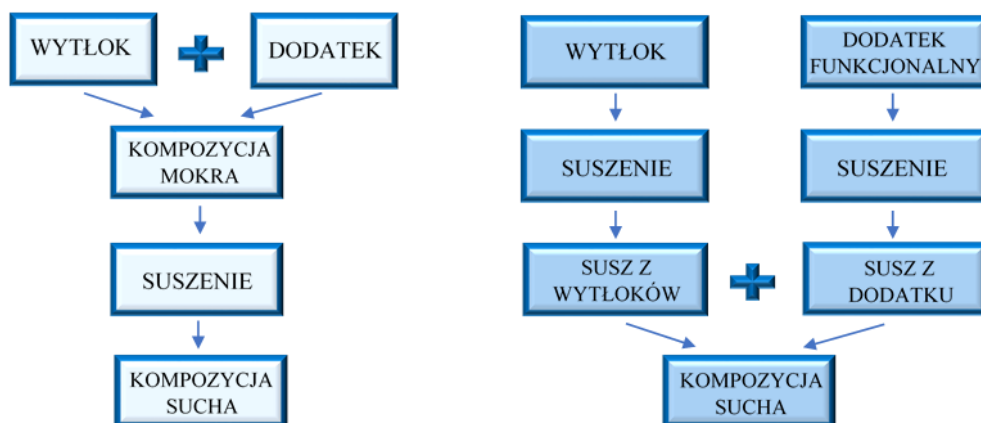
Tabela 2. Parametry procesów suszenia przedstawione w monografii lub publikacjach uzupełniających pracę doktorską

surowiec	warianty kompozycji	PARAMETRY SUSZENIA				badane właściwości fizykochemiczne suszy
		FD	CD	MVD	CPD-FMVD	
wytłoki z borówki amerykańskiej (BA)	BA-BERK BA-BCORP BA-BJAY	Temperatura w komorze: -60° C			CPD50°C (120 min) FMVD 120W	Wilgotność, Aktywność wody, Gęstość nasypowa, Barwa Aktywność przeciwutleniająca (ABTS)
		Temperatura płyt grzewczych: 30°C	CD50°C CD70°C	MVD 480/120W	CPD70°C (120 min) FMVD 120W	
		Ciśnienie w komorze: 65Pa	CD90°C		CPD90°C (120 min) FMVD 120W	
		Czas trwania: 24h				
wytłoki z żurawiny (CP)	CP CF CP95 CF5 CP90 CF10 CP80 CF20 CP70 CF30 CFOD CP95 CFOD5 CP90 CFOD10 CP80 CFOD20 CP70 CFOD30	Temperatura w komorze: -60° C				Wilgotność, Aktywność wody, Gęstość rzeczywista i nasypowa, Porowatość, Barwa Zawartość polifenoli ogółem, Aktywność przeciwutleniająca (ABTS)
		Temperatura płyt grzewczych: 30°C	-	-	CPD 60°C (180min)	
		Ciśnienie w komorze: 65Pa			FMVD 240 W	
		Czas trwania: 24h				
wytłoki z buraka (BP)	BP BC AC 50BP50BC 50BP50AC	Temperatura w komorze: -60° C				Wilgotność, Aktywność wody, Skurcz, Barwa Identyfikacja polifenoli (UPLC), Aktywność przeciwutleniająca (FRAP)
		Temperatura płyt grzewczych: 30°C	CD50°C CD60°C	MVD120 W MVD240 W	CPD 60°C (60 min)	
		Ciśnienie w komorze: 65Pa	CD70°C	MVD360 W	FMVD 120 W	
		Czas trwania: 48h				

6.2.1. Waloryzacja wycieków owocowych i warzywnych

Zróznicowana zawartość składników i substancji odżywczych wycieków owocowych i warzywnych pozwala na szerokie możliwości ich dalszego zagospodarowania (Majerska, J., Michalska, A. i Figiel, A., 2019). Bogate w swoim składzie wycieki z owoców jagodowych, np. z czarnej porzeczki, aronii, żurawiny czy borówki amerykańskiej można jeszcze dodatkowo waloryzować poprzez dodatki owoców odwadniających osmotycznie uzyskując produkt, który może charakteryzować się wysokim potencjałem bioaktywnym. w przypadku wycieków z buraka ćwikłowego, który po tłoczeniu traci cenne składniki, ich skład jest atrakcyjny z uwagi na zawartość błonnika pokarmowego i waloryzacja tych wycieków może stanowić interesujący kierunek ich zagospodarowania. Dodatek składników pochodzących z owoców i warzyw drugiego sortu, pozwala wzbogacić skład wycieków i jednocześnie wykorzystać nadmiar wyprodukowanych owoców i warzyw, które nie mogą być skierowane do bezpośredniej sprzedaży.

Oprócz fortyfikacji wycieków owocowo-warzywnych, dodatki w postaci cząstek owoców lub warzyw mogą korzystnie wpłynąć na przebieg kinetyki suszenia powstałych kompozycji, a zarazem właściwości fizykochemiczne uzyskanych suszy. Analizując aspekt suszarniczy, warto zatem sprawdzić, czy atrakcyjniejsze będzie suszenie całej kompozycji (wycieki + dodatek) czy osobno każdego komponentu, aby w późniejszym etapie po sproszkowaniu dokonać połączenia. Poniżej przedstawiono schemat blokowy, który obrazuje przedstawioną koncepcję.



Rysunek 5. Schemat blokowy suszenia komponentów poszczególnych komponentów oraz kompozycji.

6.2.2. Przygotowanie materiału do suszenia

Otrzymane i zamrożone wcześniej wytloki z borówki amerykańskiej rozmrożono w warunkach panujących w laboratorium, a następnie przygotowano do suszenia odważając próbki o masie 60 g. Masę próbek wyznaczono przy użyciu wagi laboratoryjnej PS 4500 R2 (Radwag, Polska) z dokładnością do 0,01 g.

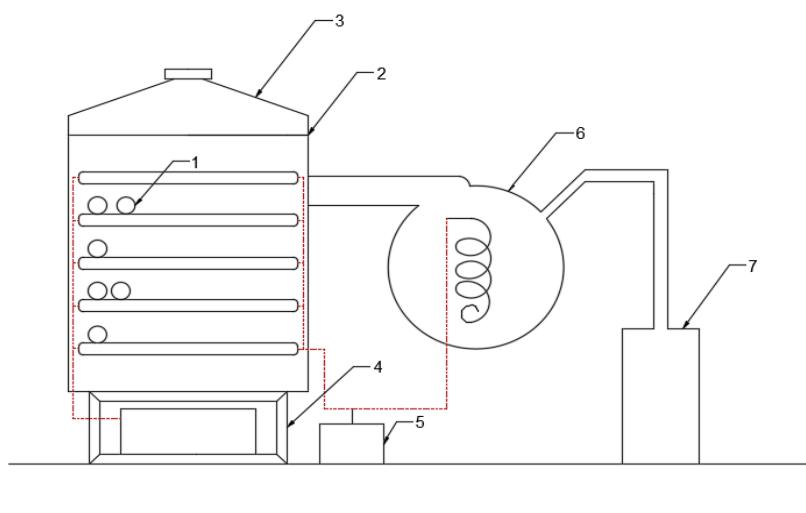
Wytloki z żurawiny mieszano z owocami żurawiny, które zostały wcześniej odwodnione osmotycznie po pokrojeniu na 4 równe części o długości ok. 0.5 cm (wzdłuż miejsca po szypułce). Próbą kontrolną były kompozycje, w których owoce żurawiny nie zostały poddane odwadnianiu osmotycznemu. Do procesu odwadniania osmotycznego wybrano koncentrat z aronii, który rozcieńczano wodą destylowaną do uzyskania stężenia 40°Bx mierzonego przy użyciu refraktometru (PAL-3, Atago, Japonia) z dokładnością $\pm 0,1^\circ\text{Bx}$. Odwadnianie osmotyczne wykonano w łaźni wodnej (Labo Play, Bytom, Polska), co pozwoliło na utrzymanie zadanej temperatury procesu, z dokładnością $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Zlewki o pojemności 350 ml wypełnione do objętości 250 ml roztworem osmotycznym umieszczono w łaźni wodnej 30 min przed rozpoczęciem procesu odwadniania, w celu uzyskania temperatury roztworu 45°C. Owoce żurawiny ważono przy użyciu wagi laboratoryjnej PS 4500 R2 (Radwag, Polska) i umieszczono je w przygotowanym roztworze osmotycznym prowadząc proces odwadniania przez 90 min. Po procesie odwadniania osmotycznego materiał oddzielono od roztworu przy użyciu sita i osuszono korzystając z ręczników papierowych w sposób nienaruszający struktury materiału. Następnie odwodnione osmotycznie owoce żurawiny zważono i przygotowano zaplanowane kompozycje z różnym udziałem procentowym tych owoców i wycieków z żurawiny.

Kostki jabłek i buraków o boku 10 mm wycinano za pomocą szatkownicy kuchennej, a następnie dodawano do złoża wycieków z buraków w trzech wariantach udziału masowego 20, 35 i 50% w stosunku do całej próbki o masie 100 g. Próbki ważono przy użyciu wagi laboratoryjnej PS 4500 R2 (Radwag, Polska) z dokładnością 0,01 g. Utworzone kompozycje na bazie wycieków z buraka wzbogacano w dwóch wariantach: kostkami buraka i kostkami jabłka. Próbką porównawczą w tym układzie były próbki wycieków bez dodatku. Tak przygotowane kompozycje poddano suszeniu różnymi sposobami.

6.2.3. Procesy suszenia

Rozmrożone wytloki z owoców i warzyw po ewentualnym zmieszaniu z kostkami z jabłek lub buraków albo owocami żurawiny poddano wybranym procesom suszenia, które wykonano w dwóch powtórzeniach technologicznych ($n=2$). Próbki zważono przy użyciu wagi laboratoryjnej PS 4500 R2 (Radwag, Polska).

Suszenie sublimacyjne (liofilizacja) przeprowadzono przy użyciu liofilizatora znajdującego się w Katedrze Chemii na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu, którego schemat został przedstawiony na rys. 6. Próbki wytlóków z borówki amerykańskiej i żurawiny ($m=60$ g) liofilizowano przez 24 h przy temperaturze płyt grzewczych 30°C i temperaturze w komorze -60°C . w przypadku kompozycji wytlóków buraczanych z kostkami z buraka/jabłka proces liofilizacji prowadzono przez 48 h w celu zakończenia fazy sublimacji i desorpcji (Nowak i Jakubczyk, 2020). Liofilizacja stanowiła proces kontrolny w stosunku do pozostałych sposobów suszenia.

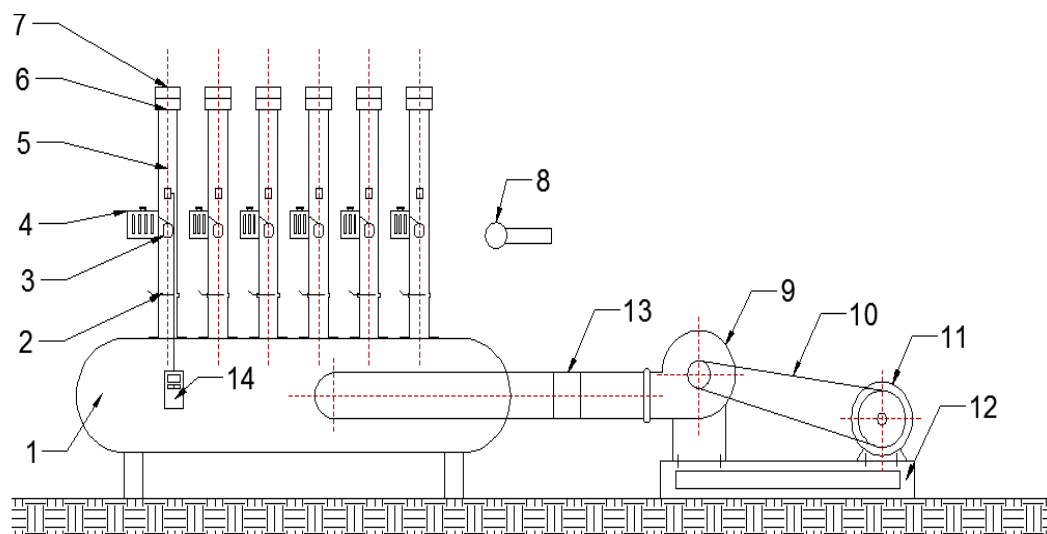


Rysunek 6. Schemat liofilizatora.

Źródło: Opracowanie własne

1-próbka	4-układ grzewczy	7-układ próżniowy
2-komora	5-układ mrozący	
3-pokrywa	6-kondensator lodu	

Suszenie konwekcyjne wycieków przeprowadzono przy użyciu suszarki konwekcyjnej (Rys. 7)



Rysunek 7. Schemat suszarki konwekcyjnej.

Źródło: Opracowanie własne

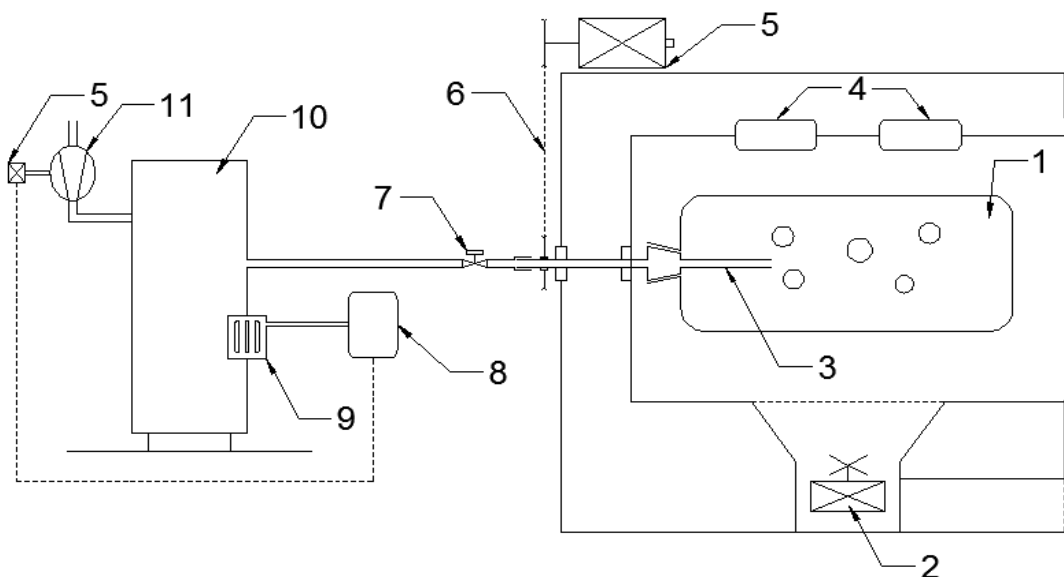
1-komora powietrzna	4-autotransformator	7- koszyk z próbkami	10-przekładnia pasowa	13-przewód elastyczny
2-zasuwa przepływu powietrza	5-kanał powietrzny	8-anemometr	11-silnik elektryczny	14-termometr
3-grzałki elektryczne	6-gniazdo na koszyk z próbkami	9-wentylator	12-mocowanie silnika	

Funkcję czynnika suszącego pełniło gorące powietrze, które z prędkością $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ owiewało wylki z wybranych owoców lub wycieków buraczanych o masie 60 g. Próbkę umieszczano w równomiernej warstwie na sitach stanowiących dno koszyków o średnicy 100 mm, a następnie koszyki umieszczano na kanale powietrznym, przez który przepływało powietrze o temperaturze:

- **50, 70, 90 °C** w przypadku wycieków borówki amerykańskiej,
- **50, 60, 70 °C** w przypadku kompozycji z wyciekami z buraka.

Wartości temperatur wybrano na podstawie przeglądu literatury (Michalska i in., 2016, Michalska i in., 2017, Michalska i in., 2019, Cichowska-Bogusz i in., 2020). w początkowej fazie procesu suszenia próbki ważono co 5 minut przez 20 min, następnie co 10 min przez kolejne 40 min, kolejno co 15 min przez okres 60 min, następnie co 30 min do momentu ustabilizowania się wagi próbek, świadczącego o uzyskaniu wilgotności równowagowej.

Proces suszenia mikrofalowo-próżniowego przeprowadzono w suszarce mikrofalowo – próżniowej SM-200 (Plazmatronika, Polska) (Rys. 8.).



Rysunek 8. Schemat suszarki mikrofalowo-próżniowej.

Źródło: Opracowanie własne

1-komora suszenia	5-silnik elektryczny	9-czujnik ciśnienia
2-wentylator	6-przekładnia	10-zbiornik wyrównawczy
3-przewód odprowadzający powietrze	7-zawór zamykający	11-pompa próżniowa
4-magnetrony	8-regulator ciśnienia	

Próbki owoców lub wytlóków o masie 60 g umieszczano w szklanym słoju stanowiącym komorę suszenia, a następnie montowano go na głowicy zakończonej przewodem umożliwiającym odprowadzenie powietrza aż do osiągnięcia ciśnienia wahającego się w przedziale 4 – 6 kPa. Następnie szklany słoj z próbką wprawiano w ruch obrotowy z prędkością 6 obr·min⁻¹, przy którym odbywał się proces suszenia z zastosowaniem następujących poziomów mocy magnetronów:

- **480/120 w** – dla wytlóków z borówki amerykańskiej. Zastosowano redukcję mocy w trakcie procesu z 480 do 120 W, w celu uniknięcia przegrzania próbki. Moc magnetronów obniżano w momencie, gdy próbka osiągała temperaturę ok. 70°C. Pomiar masy następował co 2 min w przypadku cykli suszenia o mocy 480 W, natomiast po redukcji do 120 w próbkę ważono co 8 min;
- **120, 240/120 i 360/120 w** – dla kompozycji składających się z wytlóków z buraka i kostek jabłka/buraka. w przypadku suszenia przy mocy 240 i 360 W po osiągnięciu temperatury próbki ok. 80°C moc zredukowano do 120 W, aby uniknąć nadmiernego nagrzania próbki. Pomiaru temperatury próbek dokonywano za pomocą kamery termowizyjnej FLIR i50 (Flir Systems AB, Szwecja).

Suszenie mikrofalowo próżniowe dla kompozycji wycieków z kostkami buraków i jabłek zostały wykonane na zestawie próżniowym zaprojektowanym przez firmę Promis-Tech sp. z o. o. w ramach odbytego stażu zawodowego oraz projektu Innowacyjny Doktorat.

Suszenie łączone próbek o masie 60 g zostało podzielone na dwa etapy: w pierwszym przeprowadzono podsuszanie konwekcyjne w temperaturach:

- **50, 70, 90°C** – w przypadku wycieków z borówki amerykańskiej. Podsuszanie konwekcyjne przeprowadzono przez 120 min do wilgotności ok. 0,075 kg·kg⁻¹,
- **60°C** – w przypadku kompozycji wycieków z żurawiny z dodatkiem owoców żurawiny (odwadnianych osmotycznie w soku z aronii i nieodwadnianych) proces prowadzono przez 180 min do wilgotności ok. 0,06 kg·kg⁻¹ – w przypadku kompozycji z udziałem owoców nieodwadnianych osmotycznie i do wilgotności ok. 0,04 kg·kg⁻¹ jeżeli chodzi o kompozycje z dodatkiem owoców żurawiny poddanych odwadnianiu osmotycznemu w soku z aronii. Podsuszanie konwekcyjne wycieków z buraka oraz kompozycji na ich bazie w tej temperaturze trwało 60 min do uzyskania wilgotności ok. 0,04 kg·kg⁻¹.

W drugim etapie próbki wycieków i kompozycji sporządzonych z ich udziałem dosuszano przy zastosowaniu suszenia mikrofalowo-próżniowego. Suszenie przeprowadzono w suszarce SM- 200 (Plazmatronika, Wrocław) postępując w sposób opisany w podrozdziale *Suszenie mikrofalowo-próżniowe*. Dosuszanie mikrofalowo-próżniowe było prowadzone przy następujących parametrach:

- **120 W** – w przypadku wycieków z borówki amerykańskiej, buraka oraz kompozycji na bazie wycieków z buraka i kostek z buraka/jabłka. Proces prowadzono do momentu osiągnięcia różnicy masy w kolejnych cyklach 0,05 g dla wycieków owocowych oraz 0,2 g dla wycieków z buraka i kompozycji na ich bazie.
- **240 W** – w przypadku wycieków z żurawiny z dodatkiem owoców żurawiny i owoców żurawiny odwadnianej osmotycznie w soku z aronii.

6.2.4. Właściwości fizyczne

Susze uzyskane z wybranych surowców po procesach suszenia zmielono za pomocą młynka elektrycznego MKM 6003 Grinder (Bosch GmbH, Niemcy) do postaci proszków, a następnie poddano je analizie właściwości fizyko-chemicznych.

Wilgotność i kinetyka suszenia

Wilgotność w proszkach wyznaczono przy użyciu suszarki próżniowej SPT-200 (ZEAMiL, Horyzont, Kraków), w której próbki przebywały w temperaturze 80°C przez czas 20 h (Cano-Lamadrid i in., 2017). Pomiar ubytku masy w badanych kompozycjach pozwolił wyznaczyć kinetykę suszenia jako spadek zredukowanej zawartości wody (MR) (1) w zależności od czasu suszenia.

$$MR = \frac{M_i}{M_0} \quad (3)$$

gdzie:

M_i – bieżąca zawartość wody,

M_0 – początkowa zawartość wody.

Aktywność wody

Aktywność wody (a_w) w otrzymanych proszkach mierzono za pomocą miernika aktywności wody AQUA LAB DewPoint Water Activity Meter (Washington State, USA). Pomiar aktywność wody w temperaturze 25°C ± 2°C został wykonany w trzykrotnym powtórzeniu, przy czym próbki pochodziły z kolejnych powtórzeń procesu suszenia ($n=3$).

Gęstość właściwa i nasypowa

Gęstość właściwą badanych proszków wyznaczono przy użyciu piknometru gazowego HumiPyc TM/model 2 Gas Pycnometer (InstruQuest Inc., Coconut Creek, FL, Stany Zjednoczone) z użyciem argonu ($p=220$ kPa). Gęstość właściwą sproszkowanego materiału obliczono według poniższego równania (4):

$$\rho_t = \frac{m}{V}$$

(4)

gdzie:

m – masa próbki,

V – objętość cząstek proszku.

Gęstość nasypową z usadem wyznaczono na podstawie normy (PN-EN ISO 3953), wykorzystując cylinder miarowy o pojemności 10 cm³ oraz wagę laboratoryjną PS 4500 R2 (Radwag, Polska). Gęstość nasypową obliczano na podstawie równania 5:

$$\rho_b = \frac{m_c}{V_c} \quad (5)$$

gdzie:

m_c – masa sproszkowanej próbki znajdującej się w cylindrze,

V_c – objętość cylindra wypełnionego całkowicie sproszkowaną próbką.

Pomiar gęstości właściwej i nasypowej wykonano w trzech powtórzeniach technologicznych ($n=3$).

Porowatość

Porowatość (ε) obliczono znając wartości gęstości nasypowej (ρ_b) oraz gęstości właściwej (ρ_t) proszków (6):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \cdot 100 \% \quad (6)$$

gdzie:

ρ_b – gęstość nasypowa,

ρ_t – gęstość właściwa.

Barwa

Pomiar barwy suszu z kompozycji na bazie wyłoków z borówki amerykańskiej, żurawiny i buraka ćwikłowego wykonano przy użyciu kolorymetru Minolta CR-400 (Osaka, Japonia). Wyznaczono współrzędne barw w przestrzeni CIE L^* , a^* , b^* (L^* - jasność, a^* - współrzędna określająca udział koloru zielonego i czerwonego, b^* - współrzędna określająca udział koloru niebieskiego i żółtego). Do pomiaru barwy wykorzystano iluminant wzorcowy D65. Pomiar barwy przeprowadzono w 3-krotnym powtórzeniu, przy czym próbki pochodziły z kolejnych powtórzeń procesu suszenia ($n=3$).

6.2.5. Właściwości chemiczne

Przygotowanie ekstraktów

Otrzymane proszki z wybranych wyłoków owocowo-warzywnych zostały poddane ekstrakcji z użyciem 80% wodnego roztworu metanolu, a następnie oddziaływaniu ultradźwięków przez 15 min. Próbkę pozostawiono na 24 godziny w temperaturze 4°C i ponownie poddano sonikacji (15 min). Po odwirowaniu przy prędkości 4800 obr·min⁻¹ (MPW-251, MPW Med. Instruments, Polska) uzyskane ekstrakty przygotowano do dalszych analiz.

Całkowita zawartość związków polifenolowych

Całkowitą zawartość polifenoli w ekstraktach na bazie kompozycji z wyłoków żurawiny z dodatkiem ćwiartek owoców żurawiny oznaczano metodą Folina-Ciocalteu (F-C) (Sokół-Łętowska i Oszmianski, 1998; Wojdyło, Oszmiański, i Czemerys, 2007). Próbkę ekstraktów z wyłoków były pipetowane do kuwet razem z odczynnikiem F-C. Następnie po 3 min dodano 1 mL 20% wodnego roztworu węgla sodu (Na₂CO₃) i 2 mL wody destylowanej. Tak przygotowane mieszaniny przechowywano w ciemnym miejscu przez 1 godzinę. Wartość absorbancji mieszanin mierzono przy 765 nm przy użyciu spektrofotometru (Shimadzu UV-2401 PC, Japonia), a wyniki wyrażano jako mg kwasu galusowego (GAE) na 100 g suchej substancji. Oznaczenia wykonano w trzykrotnych powtórzeniach ($n=3$).

Identyfikacja polifenoli i betacyjanów z wykorzystaniem UPLC-PDA

Związki polifenolowe w wyłokach buraczanych z dodatkiem kostek buraka i jabłka identyfikowano i oznaczano za pomocą ultrasprawną chromatografię cieczową (UPLC-PDA) po wcześniejszej ekstrakcji próbek. w związku z tym odważano ok. 2 g materiału i zmieszano z 5 mL wodnego roztworu alkoholu metylowego (30%, v/v) z dodatkiem 2% kwasu askorbinowego i 1% kwasu octowego. Następnie próbki umieszczono w łaźni ultradźwiękowej na 15 min. Po 24 godz. przechowywania w temp. ok. 4°C proces powtórzono. Tak otrzymane ekstrakty z wyłoków z buraka z dodatkiem kostek buraka lub jabłek przefiltrowano przez membranę hydrofilową politetrafluoroetylenową (PTFE, 0,20 μm; Milex Simplicity Filter; Merck, Darmstadt, Niemcy), a otrzymany przesącz został wykorzystany do dalszych analiz.

Związki polifenolowe analizowano zgodnie z opisem Nowickiej i in. (2016) stosując system Acquity UPLC (Waters Corporation, Milford, MA, USA). Wyposażenie chromatografu obejmowało detektor z matrycą fotodiodową, a także układ pomp binarnych zawierający menedżera rozpuszczalników. Kolumna AQUITY BEH C18 (2,1 × 100 mm, 1,7 μm; Waters Corporation, Milford, MA, USA) była termostatowana w temperaturze 30°C. Objętość iniekcji wynosiła 5 μL, natomiast szybkość przepływu nastawiono na 0,42 mL/min. Związki polifenolowe rozdzielano w układzie gradientowym składającym się z fazy A (4,5% kwas mrówkowy) i fazy B (100% acetonitryl). Elucja przebiegała następująco: 0-10 min gradient liniowy od 1 do 10% B; następnie 10-15 min gradient liniowy od 10 do 17% B; i wreszcie 100% B od minuty 15 do minuty 18 w celu umycia kolumny, a następnie rekondycjonowanie przez następne 4 min. Acetonitryl (100%) stosowano jako silny rozpuszczalnik płuczący, a 10% roztwór acetonitrylu jako słaby rozpuszczalnik płuczący. Detekcję związków prowadzono przy następujących długościach fal (λ): flawan-3-ole, 280 nm; kwasy fenolowe, 320 nm; flawonole, 360 nm; antocyjany, 520 nm. Wyniki oznaczono przy użyciu oprogramowania Empower 3.0 i przedstawiono w mg/100 g produktu.

Aktywność przeciwutleniająca

Pojemność przeciwutleniającą dla wybranych wyłoków owocowych i warzywnych wyznaczono na podstawie testu dekoloryzacji kationorodnika ABTS^{•+} (TEAC ABTS) (Re i in., 1999) oraz na podstawie testu redukcji jonów żelaza (Fe³⁺) FRAP (Benzie i Strain, 1996). Analizy wykonano przy użyciu spektrofotometru Synergy H1 (BioTek Instruments Inc., Winnoski, VT, USA). Testy aktywności przeciwutleniającej wykonano w trzech powtórzeniach ($n=3$), a wyniki wyrażono jako mmol Troloxu na 100 g suchej substancji (s. s.).

6.2.6. Analiza statystyczna

Analizę statystyczną uzyskanych wyników wykonano wykorzystując program STATISTICA 13 (StatSoft, Stany Zjednoczone) opierając się na jednoczynnikowej analizie wariancji ANOVA i analizie grup jednorodnych średnich wartości wyników przy użyciu testu Tukeya HSD ($p \leq 0.5$) (Uyanık i Güler, 2013).

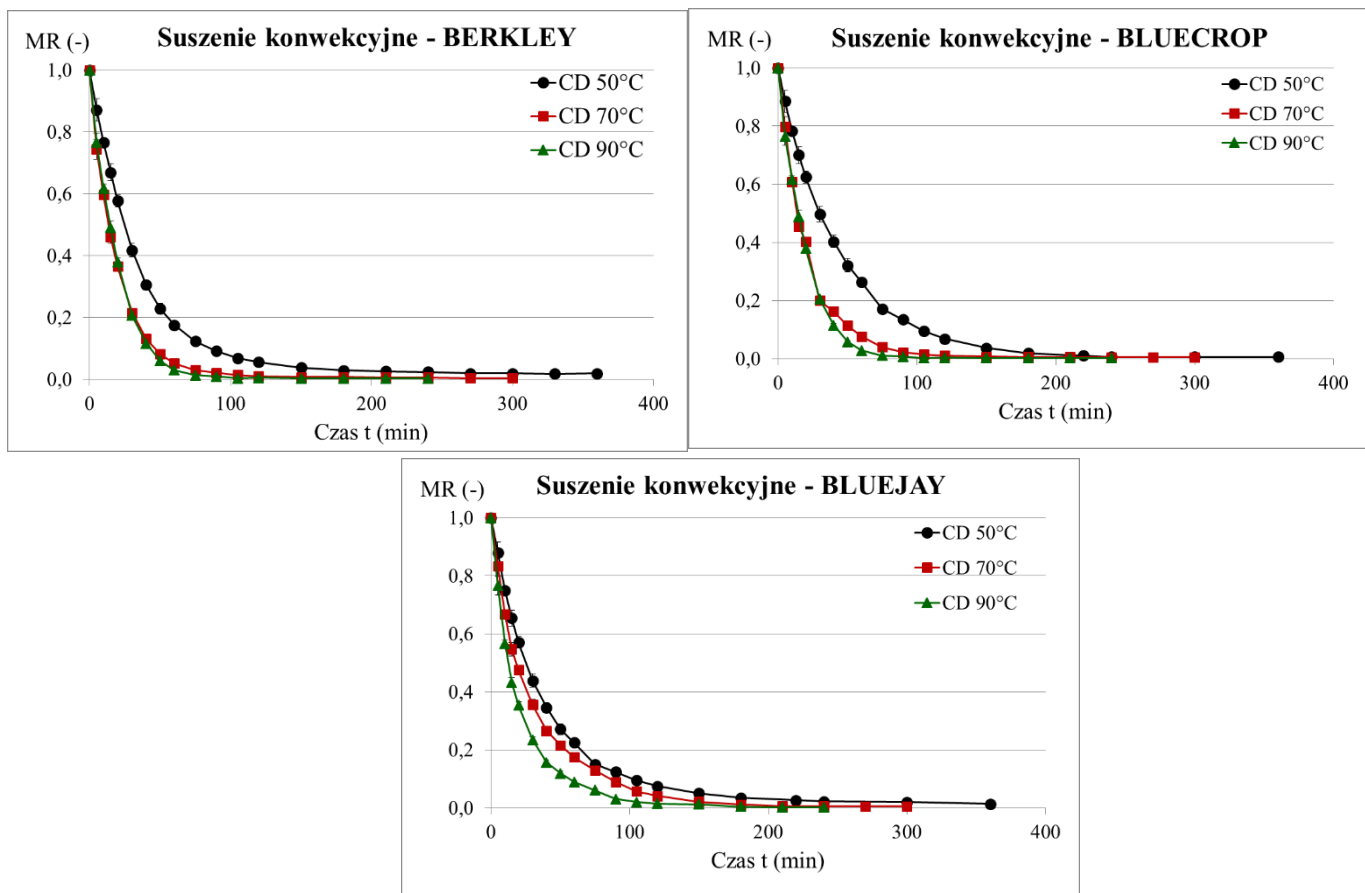
7. WYNIKI i DYSKUSJA

Poniżej przedstawiono kinetykę suszenia i wyniki wybranych analiz fizykochemicznych dla wyłoków owocowo-warzywnych – z borówki amerykańskiej (3 odmiany), żurawiny i buraka ćwikłowego.

7.1. Wpływ warunków suszenia na kinetykę suszenia wybranych suszy z wyłoków

Wyłoki z borówki amerykańskiej

Kinetykę suszenia konwekcyjnego wyłoków owocowych z trzech odmian borówki amerykańskiej przedstawiono na rys. 9.



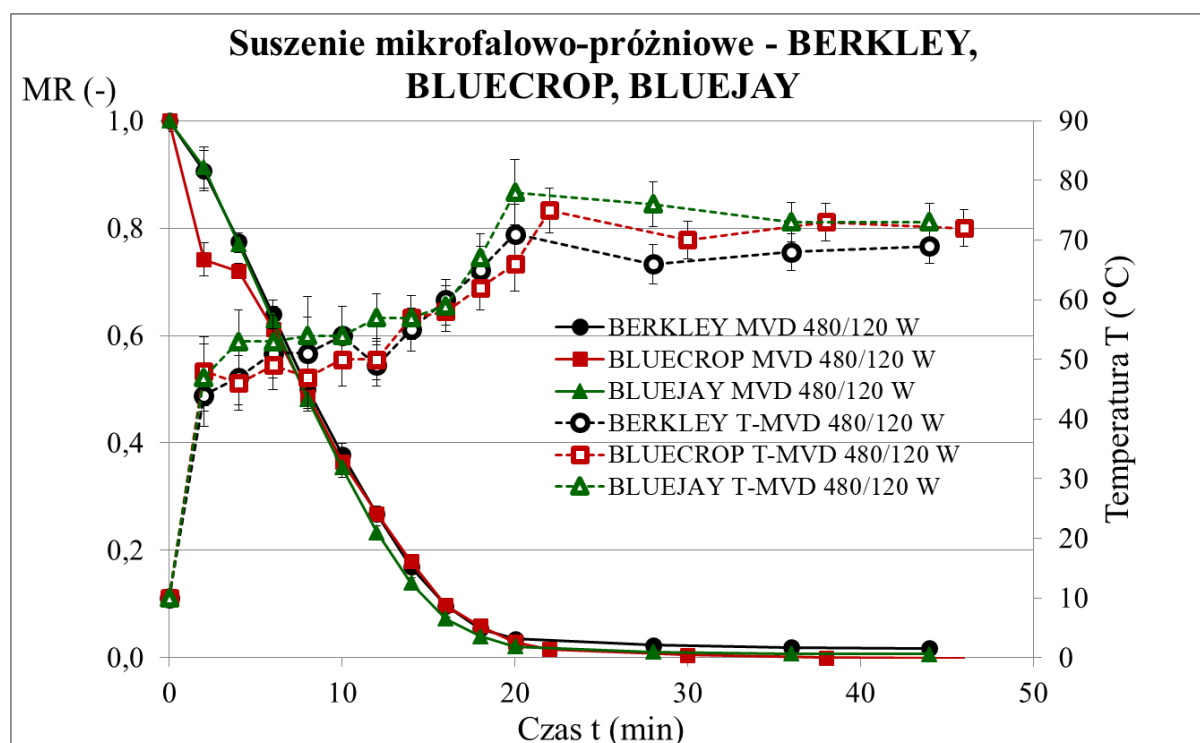
Rysunek 9. Kinetyka suszenia konwekcyjnego wyłoków z owoców trzech odmian borówki amerykańskiej przy zastosowaniu temperatury powietrza 50, 70 i 90°C.

Zgodnie z oczekiwaniem wzrost temperatury powietrza suszącego przyczynił się do skrócenia czasu suszenia (Michalska, Wojdyło, Lech, i in., 2017; Lachowicz i in., 2019; Michalska i in. 2019; Abano, Amoah, i Opoku, 2019), który wynosił odpowiednio

360, 300 i 240 min dla temperatury 50, 70 i 90°C, niezależnie od odmiany borówki. Jedyną różnicą związaną z odmianą była szybkość suszenia na początku procesu, która była podobna dla temperatur 70 i 90°C w przypadku odmian *Berkley* i *Bluecrop*. Brak wpływu temperatury powietrza w zakresie od 70 do 90°C w początkowym etapie procesu na szybkość suszenia, którą wyraża intensywność spadku zredukowanej zawartości wody MR względem czasu suszenia t , można wiązać z budową morfologiczną wyłoków z owoców borówki obu odmian, która powoduje, że w zakresie wilgotności od ok. 61,5 do 24,8% (wartości MR od 1 do 0,2) usuwanie wody słabo związanej ze strukturą wyłoków odbywa się z podobną intensywnością niezależnie od strumienia energii cieplnej dostarczanej do suszonej próbki. Można to wykorzystać w praktyce stosując zamiast suszenia wyłoków w temperaturze 90°C suszenie dwuetapowe polegające na ich podsuszaniu w temperaturze 70°C do osiągnięcia wilgotności 25%, a następnie dosuszaniu w temperaturze 90°C. z kolei, w przypadku wyłoków z owoców odmiany *Bluejay* można zaobserwować, że zwiększenie temperatury z 70 do 90°C zdecydowanie przyczynia się do uzyskania znacznie większej szybkości suszenia w pierwszym okresie suszenia, co zaobserwowano również w innych badaniach podczas suszenia konwekcyjnego wyłoków z borówki amerykańskiej w temperaturze 60 i 90°C (Zielińska i Michalska, 2018), a także podczas suszenia wyłoków z buraka i wyłoków granatowca (Nistor i in., 2017; Cano-Lamadrid i in., 2018). z drugiej strony zwiększenia temperatury z 50 do 70°C nie powoduje tak znacznego zwiększenia szybkości suszenia w zakresie wilgotności od ok. 60 do 15% (wartości MR od 1 do 0,1). Oznacza to, że w praktyce można podsuszać wyłoki w temperaturze 50°C, a po osiągnięciu wilgotności 15-20% dosuszać je w temperaturze 70°C. Suszenie dwuetapowe polegające na zwiększeniu temperatury powietrza po osiągnięciu określonej wilgotności może przyczynić się do znacznego zmniejszenia energochłonności procesu bez istotnego wydłużenia czasu jego trwania w porównaniu z jednoetapowym procesem suszenia konwekcyjnego z zastosowaniem wyższej temperatury.

Na Rys. 10 przedstawiono kinetykę suszenia mikrofalowo-próżniowego wyłoków z owoców trzech odmian borówki amerykańskiej przy zastosowaniu mocy 480 w zredukowanej do 120 w w celu niedopuszczenia do osiągnięcia zbyt wysokiej temperatury suszonego materiału. Na podstawie przebiegu punktów pomiarowych ilustrujących spadek zredukowanej zawartości wody MR względem czasu suszenia można wyodrębnić trzy charakterystyczne okresy niezależnie od odmiany (Figiel, 2010).

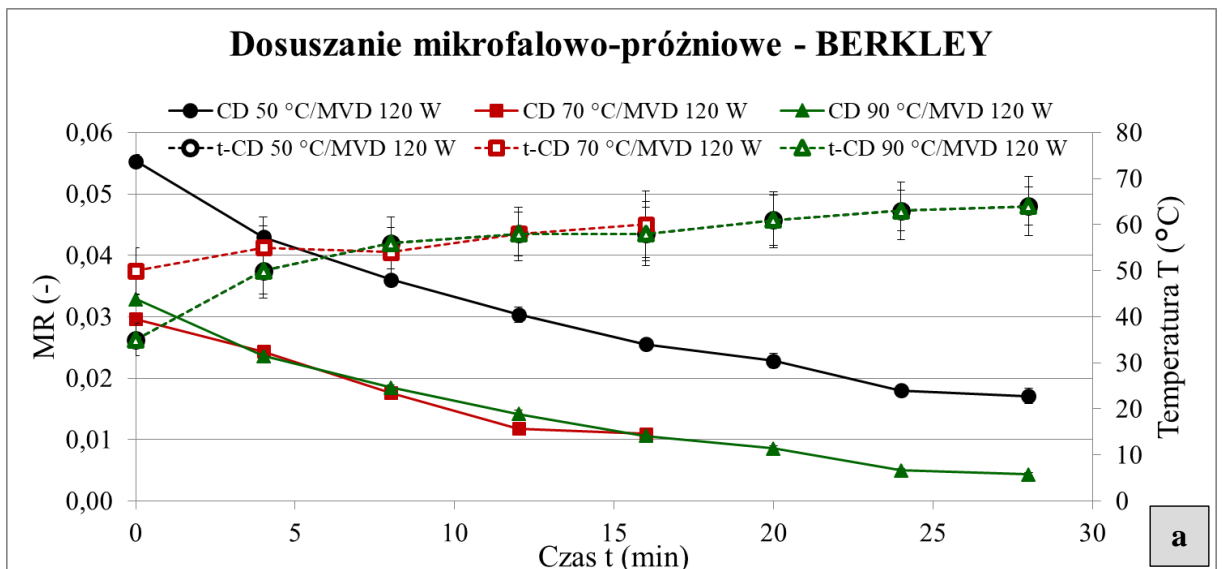
Mianowicie, w ciągu pierwszych 10 minut procesu stanowiących pierwszy okres, suszenie odbywa się ze znaczną, stałą szybkością suszenia. w ciągu kolejnych 10 minut należących do drugiego okresu szybkość suszenia maleje wykładniczo, aby znaleźć się w trzecim okresie charakteryzującym się ponownie stałą szybkością suszenia, ale o bardzo małej wartości. w pierwszym okresie suszenia nie stwierdzono wpływu odmiany na szybkość suszenia. w drugim okresie suszenie wyłoków z owoców odmiany *Bluejay* odbywało się przy większej szybkości suszenia w porównaniu z wyłokami owoców pozostałych odmian, co było związane z wyższą temperaturą materiału osiagającą maksymalną wartość 78°C w momencie zredukowania mocy mikrofal, ale trzeci okres suszenia zdecydował o tym, że czas suszenia wyłoków z owoców odmiany *Bluejay* był taki sam jak czas suszenia wyłoków z owoców odmiany *Berkley* i wynosił 44 min, a czas suszenia wyłoków z owoców odmiany *Bluecrop* był nieznacznie dłuższy wynosząc 46 min.

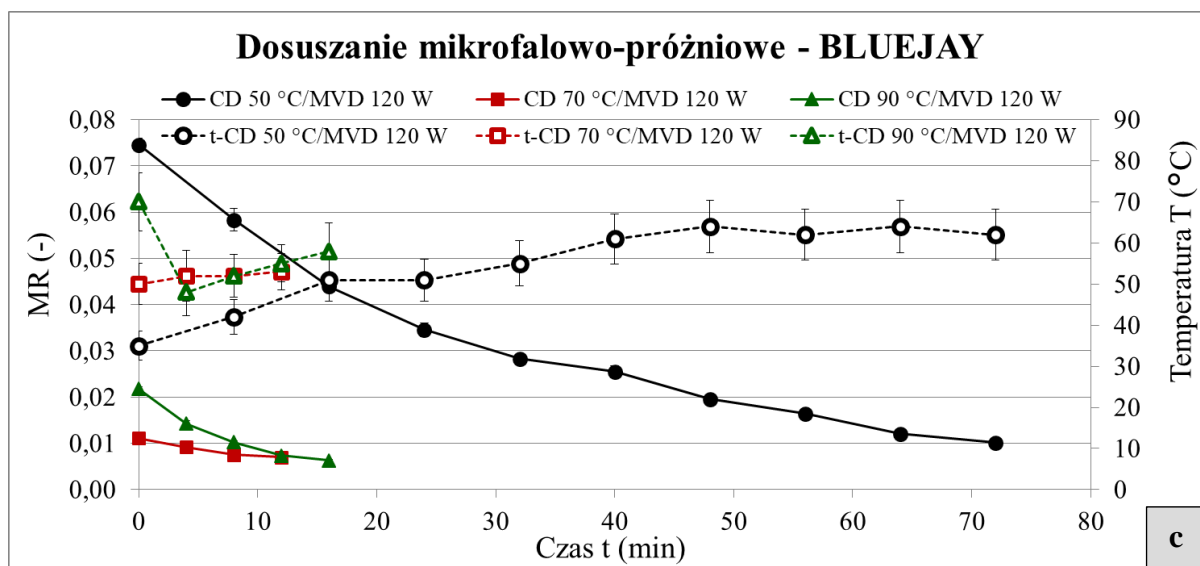
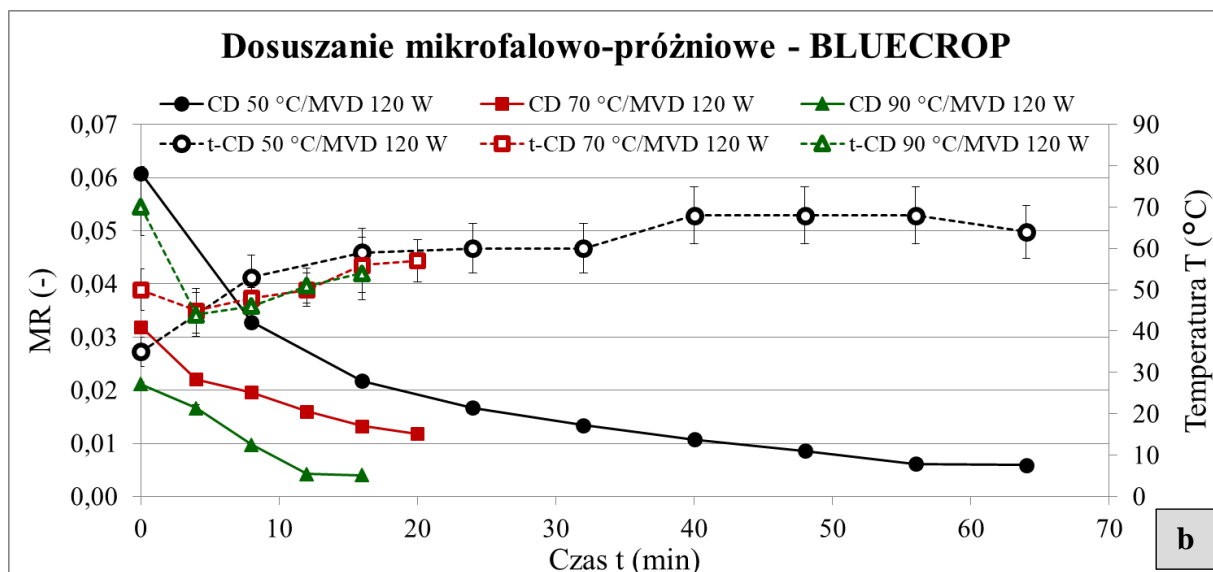


Rysunek 10. Kinetyka suszenia konwekcyjnego wyłoków z owoców trzech odmian borówki amerykańskiej przy zastosowaniu temperatury powietrza 50, 70 i 90°C.

Kinetyka suszenia łączonego (Rys.11) obejmuje jedynie proces dosuszania mikrofalowo-próżniowego wraz z przebiegiem temperatur w trakcie procesu. Kinetyka podsuszania konwekcyjnego (50, 70, 90°C) była zgodna z wykresami przedstawionymi na Rys. 10. w związku z tym, że czas podsuszania konwekcyjnego był taki sam niezależnie od temperatury powietrza, wartości zredukowanej zawartości wody MR

zaobserwowane na początku dosuszania mikrofalowo-próżniowego różniły się między sobą, przy czym największą wartość odnotowano w przypadku temperatury 50°C, a znacznie niższe i zbliżone do siebie wartości w przypadku temperatury 70 i 90°C. w innych badaniach dotyczących suszenia wyłoków z borówki amerykańskiej (odmiana Berkley), czas podsuszania w temperaturach 60 i 90°C był różny i zdeterminowany uzyskaniem wilgotności próbek wyłoków na poziomie ok. 65%, dzięki czemu czas dosuszania mikrofalowo-próżniowego (ok. 200 W) był taki sam (Zielińska i Michalska, 2018). Generalnie, niższa wartość początkowej zredukowanej zawartości wody uzyskana po podsuszeniu konwekcyjnym sprawiała, że czas potrzebny do dosuszenia próbki przy mocy 120 W, był krótszy. Stosunkowo długi czas dosuszania mikrofalowo-próżniowego po podsuszeniu w powietrzu o temperaturze 50°C powodował, że próbki dosuszane metodą mikrofalowo-próżniową ulegały nagrzaniu do wyższej temperatury. Natomiast, o tym czy dłuższy czas dosuszania w wyższej temperaturze został zrekompenzowany niższą temperaturą podsuszania w aspekcie jakości uzyskanego suszu mogą zdecydować wyniki badań dotyczące potencjału bioaktywnego.



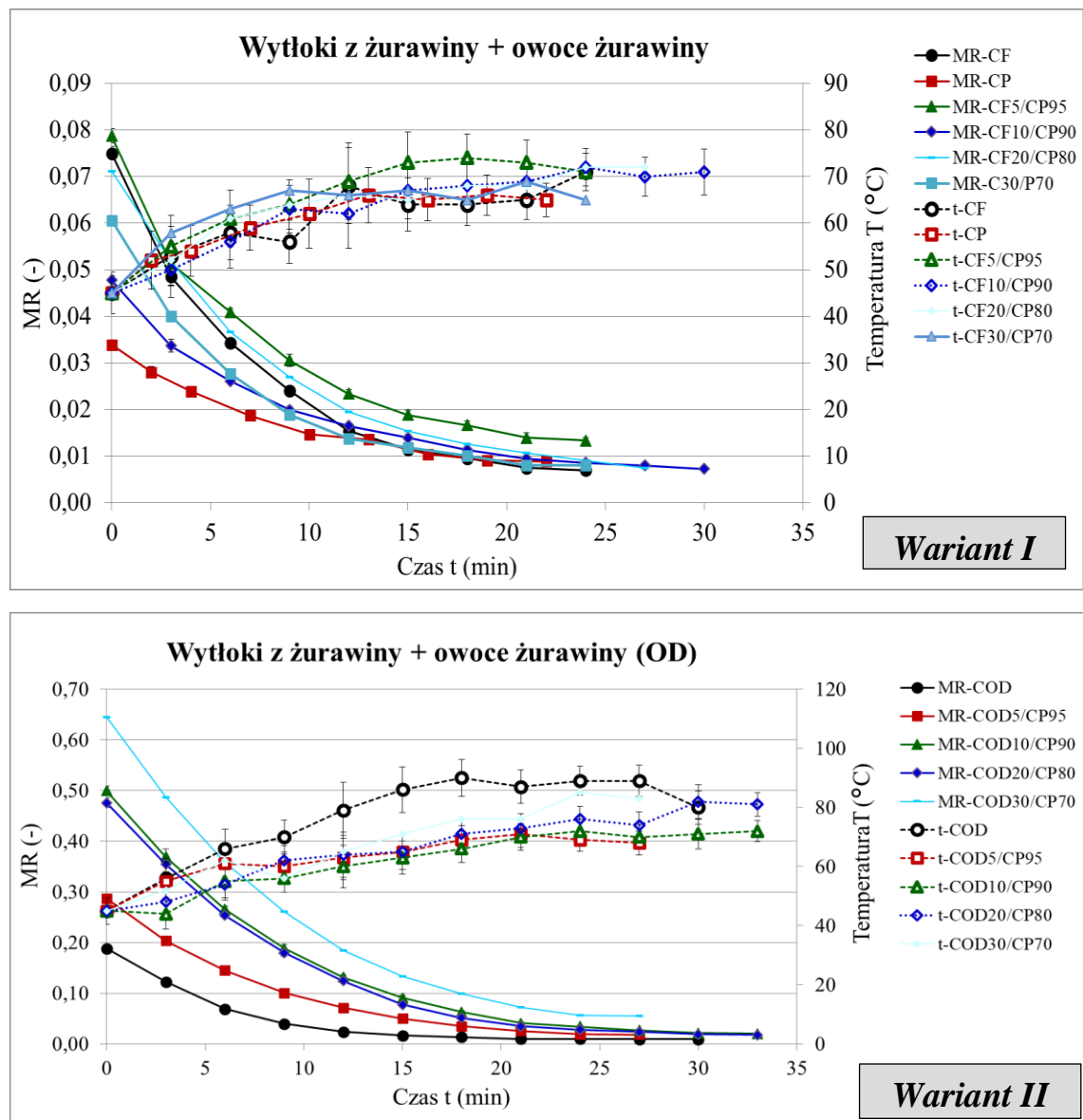


Rysunek 11. Kinetyka dosuszania mikrofalowo-próżniowego wycieków z owoców trzech odmian borówki amerykańskiej (a – Berkley, b – Bluecrop, c – Bluejay) przy mocy mikrofal 120 W po podsuszaniu konwekcyjnym w temperaturze 50, 70 i 90°C.

Wytłoki z żurawiny

Rys.12. przedstawia kinetykę suszenia mieszanek wycieków i owoców żurawiny w wariacie I – bez odwadniania osmotycznego owoców (a) oraz w wariacie II – z odwadnianiem osmotycznym owoców żurawiny (b). Wykresy obejmują zredukowaną zawartość wody (MR) w stosunku do upływającego czasu (t) podczas suszenia kombinowanego. Podsuszanie konwekcyjne przeprowadzono w temperaturze 60°C, natomiast dosuszanie mikrofalowo-próżniowe odbyło się z zastosowaniem mocy magnetronów 240 w (CD60°C/MVD240 W). Wybór takich parametrów procesowych został poparty wcześniejszymi badaniami różnych surowców roślinnych (Figiel, 2010;

Konopacka i in., 2017; Lachowicz i in., 2019; Michalska, Wojdyło, i in., 2017; Michalska i in., 2016; Pangavhane, Sawhney i Sarsavadia, 2000), gdzie zaobserwowano, że podczas pierwszej fazy suszenia konwekcyjnego, temperatura nie ma znaczącego wpływu na przebieg kinetyki suszenia. Ponadto, zastosowanie temperatury 60°C w porównaniu do wyższych temperatur podczas suszenia konwekcyjnego może mieć wpływ na większą retencję polifenoli (Horubała, 1999).



Rysunek 12. Kinetyka dosuszania mikrofalowo-próżniowego wytłoków z żurawiny ze zmiennym udziałem dodatku owoców z żurawiny (wariant I) i owoców żurawiny odwadnianych osmotycznie (wariant II) przy zastosowaniu mocy 240 W po podsuszaniu konwekcyjnym w temp. 60°C.

Wybór zastosowanej mocy dosuszania został poparty badaniami wstępnymi, które wskazały, że dosuszanie badanych kompozycji przy użyciu mocy magnetronów na

poziomie 360 w oraz 480 w prowadzi do nadmiernego wzrostu temperatury próbek, co w efekcie zwiększa stopień degradacji związków polifenolowych. Natomiast zastosowanie mocy magnetronów 120 w wprawdzie powoduje wydłużenie procesu dosuszania w stosunku do wyższych mocy, ale za to sprzyja retencji związków polifenolowych (Michalska i in., 2017). Łączny czas procesu suszenia mieszanek owoców i wyłoków z żurawiny trwał średnio ok. 215 min biorąc pod uwagę różne kompozycje surowcowe i był dłuższy o ok. 60 min w stosunku do suszenia kombinowanego wyłoków śliwkowych bez dodatku owoców prowadzonego z zastosowaniem takich samych parametrów (CD60°C/MVD120 W) (Michalska i in., 2019). Natomiast badania Michalskiej i in. (2017) dotyczące suszenia kombinowanego plastrów jabłek odmiany Jonagold pochodzących z różnych lokalizacji w Polsce (CD60°C-MVD360/120 W) wykazały, że czas suszenia jabłek w stosunku do czasu suszenia mieszanek żurawinowych był dłuższy średnio o 36 min. Zmniejszenie mocy mikrofal następuje natychmiast po gwałtownym skoku temperatury w stosunku do poprzedniego pomiaru, co pozwala uniknąć nadmiernego przegrzania próbki, czy też przypalenia, umożliwiając sprawne usuwanie wody z wnętrza materiału (Calín-Sánchez i in., 2015; Cano-Lamadrid i in., 2017). Najprawdopodobniej przyczyną różnic w czasie suszenia kombinowanego różnych surowców roślinnych są różnice w budowie morfologicznej wpływające na proces dyfuzji wody i tym samym na szybkość suszenia. Proces podsuszania konwekcyjnego mieszanek wyłoków i owoców żurawiny prowadzono przez 180 min do momentu zakończenia fazy szybkiej utraty wody, która charakteryzując się stałą szybkością suszenia poprzedza fazę zmniejszającej się szybkości suszenia (Figiel, 2010; Chon i Law, 2011). w rezultacie podsuszania konwekcyjnego prób z wariantu I uzyskano średnią zawartość wody $0,39 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast dla wariantu II – $0,75 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Podsuszanie jabłek odmiany Jonagold w tej samej temperaturze trwało o 45 min dłużej, a wyłoków z czarnej porzeczki o połowę krócej (ok. 90 min) (Michalska, Wojdyło, Łysiak, i in. 2017). Dosuszanie mikrofalowo-próżniowe kompozycji żurawinowych trwało średnio ok. 25 min dla obu wariantów mieszanek żurawinowych, natomiast dla plastrów jabłek oraz wyłoków z czarnych porzeczek odpowiednio o 7 i 10 min krócej (Michalska, Wojdyło, Łysiak, i in. 2017). Opcja połączenia suszenia konwekcyjnego (CD) oraz mikrofalowo-próżniowego (MVD) pozwala skrócić czas suszenia nawet 10-krotnie w stosunku do samego suszenia konwekcyjnego (CD) w przypadku wyłoków z czarnej porzeczki (CD60°C/MVD480 W) (Michalska, Wojdyło, Łysiak i in., 2017) oraz owoców śliwki

(Michalska i in., 2016). Krótszy czas suszenia mikrofalowo-próżniowego w porównaniu do suszenia konwekcyjnego, jest spowodowany objętościowym nagrzewaniem materiału (Cao i in., 2019), które stwarza warunki dla transportu wody typu Darcy'ego następującego pod wpływem różnicy ciśnień (Lech i in., 2015) przy zgodnych gradientach temperatury i uwilgotnienia, co sprzyja szybszej utracie wody z próbki (Zhang i in., 2006).

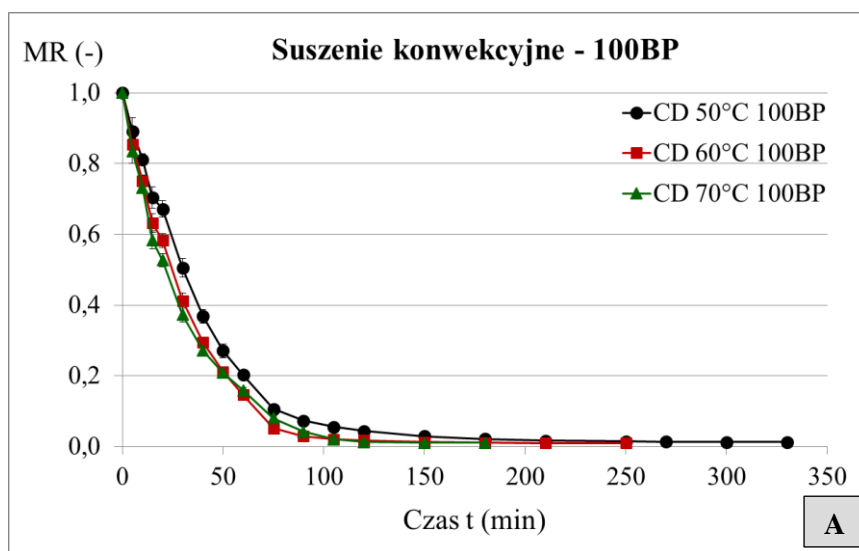
Wprowadzenie całych owoców żurawiny do wyłoków wydłużyło czas suszenia wraz ze wzrostem udziału procentowego owoców żurawiny, w porównaniu do samych wyłoków, co mogło mieć związek z wyższą o ok. 20% wilgotnością początkową owoców oraz brakiem naruszenia struktury komórkowej, która utrudnia oddawanie wody. Oprócz tego zaobserwowano, że po wprowadzeniu całych owoców żurawiny (CF, COD) do kompozycji wyłokowej (CP), następuje wzrost maksymalnych temperatur – nawet o 10°C, w porównaniu do temperatury podczas suszenia wyłoków żurawinowych. Maksymalną temperaturę procesu suszenia prób w *wariancie I* (74°C) odnotowano dla kompozycji C5-CP95, natomiast dla pozostałych mieszanek temperatura osiągała wartości poniżej 70°C. Podczas dosuszania samych wyłoków (CP) odnotowano najniższą temperaturę maksymalną (66°C), która była o ok. 30% niższa w odniesieniu do temperatury wyłoków z czarnej porzeczki (Michalska, Wojdyło, Łysiak i in., 2017) – 98°C. Dodatkowo, na podstawie kinetyki suszenia można zaobserwować, że wraz ze zwiększającym się udziałem owoców żurawiny (CF) w kompozycji wyłokowej (CP), zmniejsza się końcowa wartość zredukowanej zawartości wody MR proszków. Natomiast w przypadku wariantu z dodatkiem owoców odwadnianych osmotycznie (COD) do kompozycji wyłokowej obserwuje się wzrost wartości wilgotności końcowej. Analizując kinetykę dosuszania MVD dla *wariantu II* zaważono, że podczas suszenia samych owoców żurawiny (COD) maksymalna temperatura procesu może osiągnąć wartość nawet 90°C, a suszenie kompozycji wyłoków z 5%-owym dodatkiem owoców żurawiny odwadnianych osmotycznie (COD) pozwala na osiągnięcie niższej wartości maksymalnej temperatury nawet o 19°C. z drugiej strony, zwiększający się udział procentowy odwadnianych owoców żurawiny powoduje generowanie coraz wyższych temperatur materiału podczas procesu MVD. Uzyskanie znacznej temperatury przez owoce żurawiny suszone metodą MVD po odwadnieniu osmotycznym (*wariant II*) może być związane ze wzrostem ciśnienia wewnątrz materiału spowodowanym nagrzewaniem

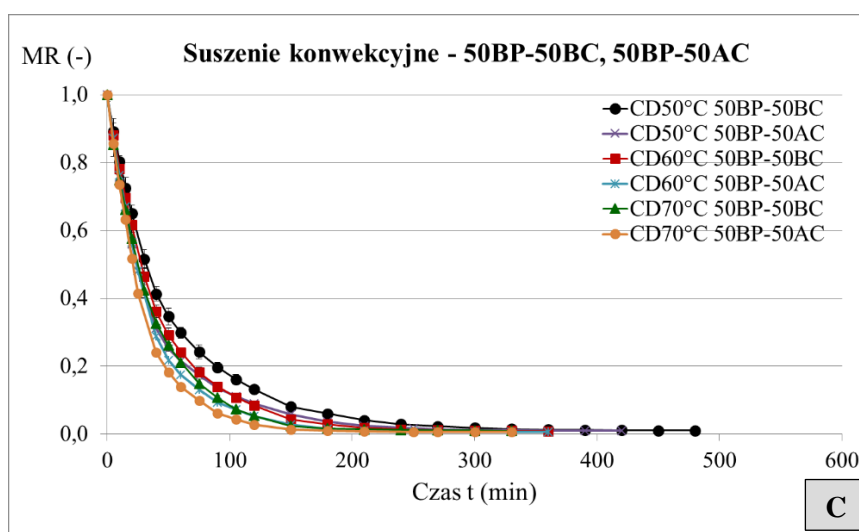
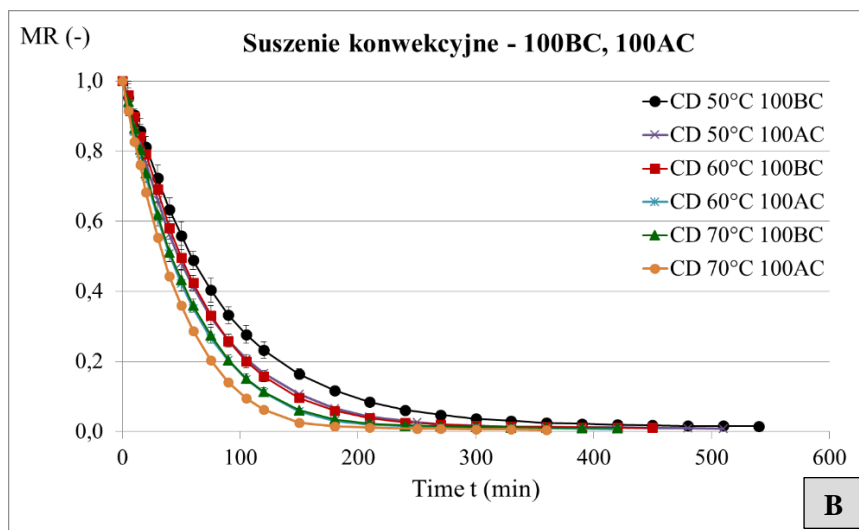
objętościowym prowadzącym do wewnętrznego parowania wody przy uszczelnieniu porów przez substancję pochodzącą z roztworu osmotycznego.

Wytłoki z buraka ćwikłowego

Na Rys. 13 A, B, C przedstawiono kinetyki suszenia konwekcyjnego (CD50, 60, 70°C), mikrofalowo-próżniowego (MVD120, 240, 360 W) oraz łączonego (P-CD60°C/F-MVD120W) wytłoków z buraka (BP), kostek z buraka (BC), kostek z jabłka (AC) i wybranej kompozycji na bazie wytłoków z buraków z dodatkiem kostek z buraków (50BP-50BC) oraz z dodatkiem kostek z jabłek (50BP-50AC). Przedstawione kinetyki suszenia obejmują zredukowaną zawartość wody (MR) w stosunku do upływającego czasu (t).

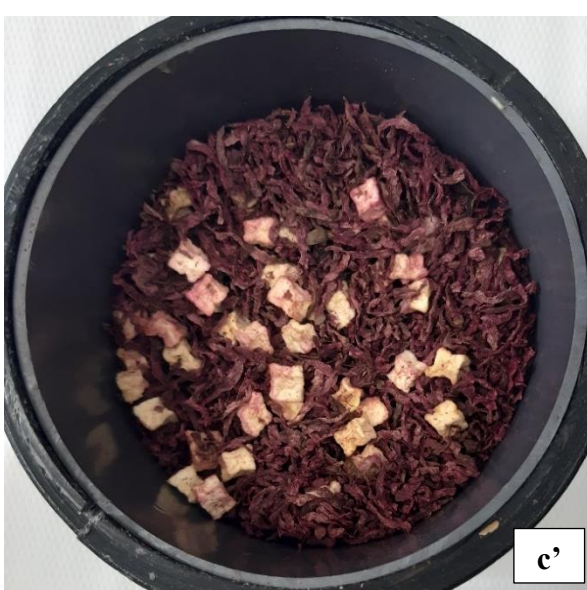
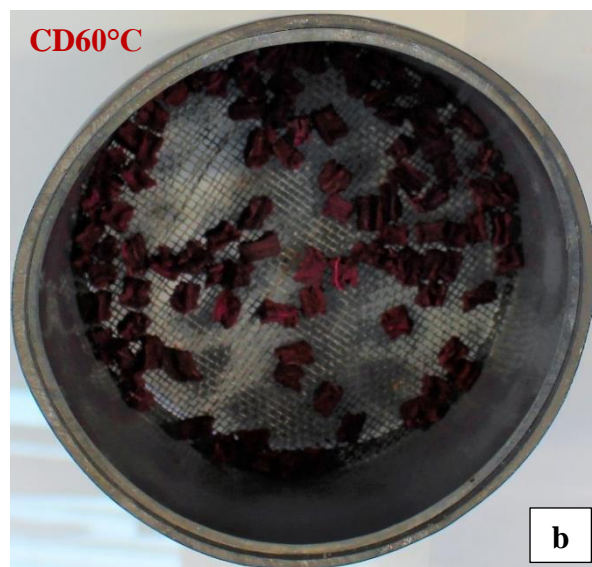
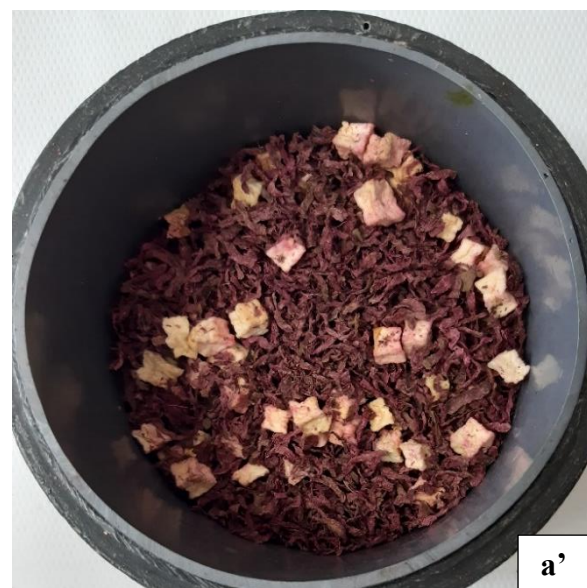
Wzrost temperatury powietrza suszącego podczas suszenia konwekcyjnego (50, 60, 70°C) powodował skrócenie czasu suszenia w przypadku wszystkich kompozycji. Do podobnych wniosków doszli inni naukowcy, którzy potwierdzają skrócenie czasu suszenia wraz ze wzrostem temperatury procesu suszenia konwekcyjnego wytłoków z buraków (Nistor i in., 2017), wytłoków z czarnej porzeczki (Michalska i in., 2017), czy też wytłoków z owoców granatowca (Cano-Lamadrid i in., 2018).





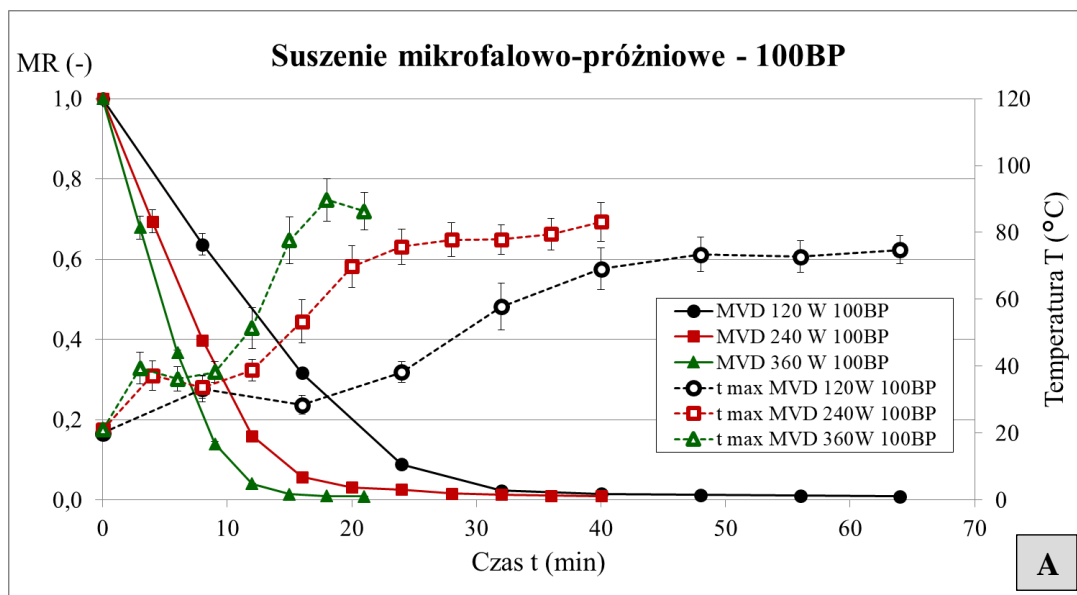
Rysunek 13. Kinetyka suszenia konwekcyjnego: a – wytlóków z buraka (100BP), B – kostek buraka (100BC) i kostek jabłka (100AC), C – kompozycji wytlóków z buraka z kostkami buraka (50BP-50BC) i kompozycji wytlóków z buraka z kostkami jabłka (50BP-50AC).

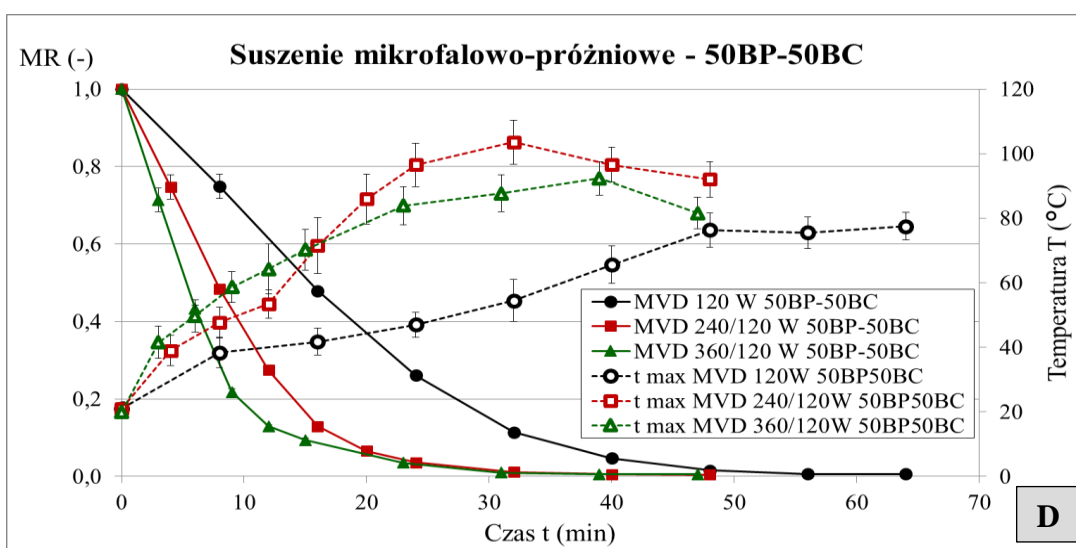
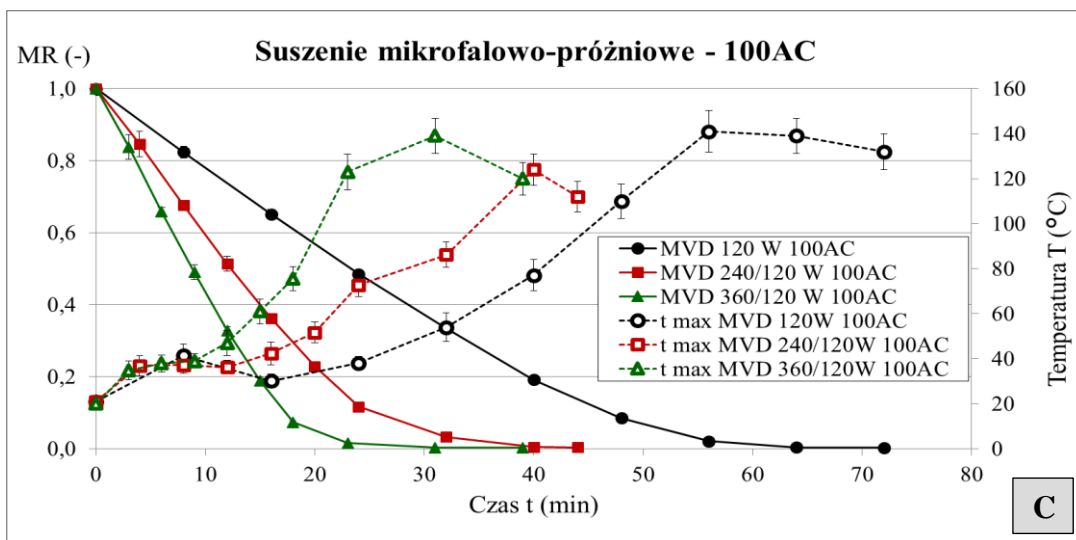
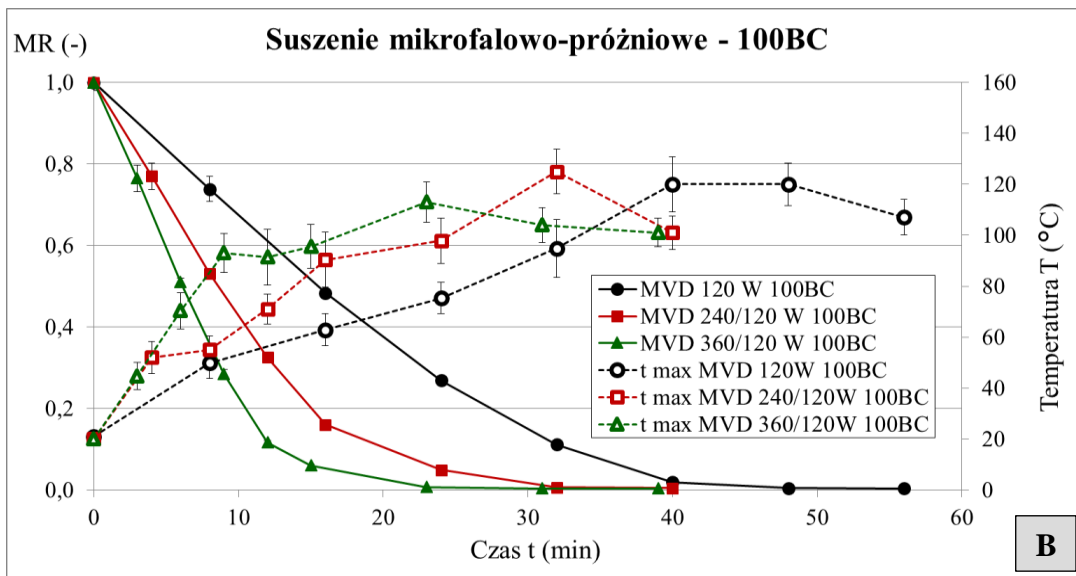
Po suszeniu konwekcyjnym CD50, 60, 70°C kostki buraka i jabłka zawarte w kompozycjach 50BP-50BC i 50BP-50AC odznaczały się stosunkowo dużym skurczem, co przedstawiono na Rys. 14 – w przypadku kompozycji 50BP-50BC przedstawiono zdjęcie samych kostek pochodzących z kompozycji, z uwagi na ich małą widoczność w obecności wytlóków z buraka. Skala skurczu w suszeniu konwekcyjnym związana jest ze specyfiką transferu wody z próbki, który odbywa się najpierw z zewnętrznych warstw, powodując zapadanie się struktury – zjawisko kolapsu, które można przedstawić na przykładzie kostek buraka odmiany *Alto* (Figiel, 2010). Zjawisko to spostrzeżono również na przykładzie plastrów marchwi suszonych w temperaturze 50 i 70°C i uprzednio poddanych obróbce wstępnej.

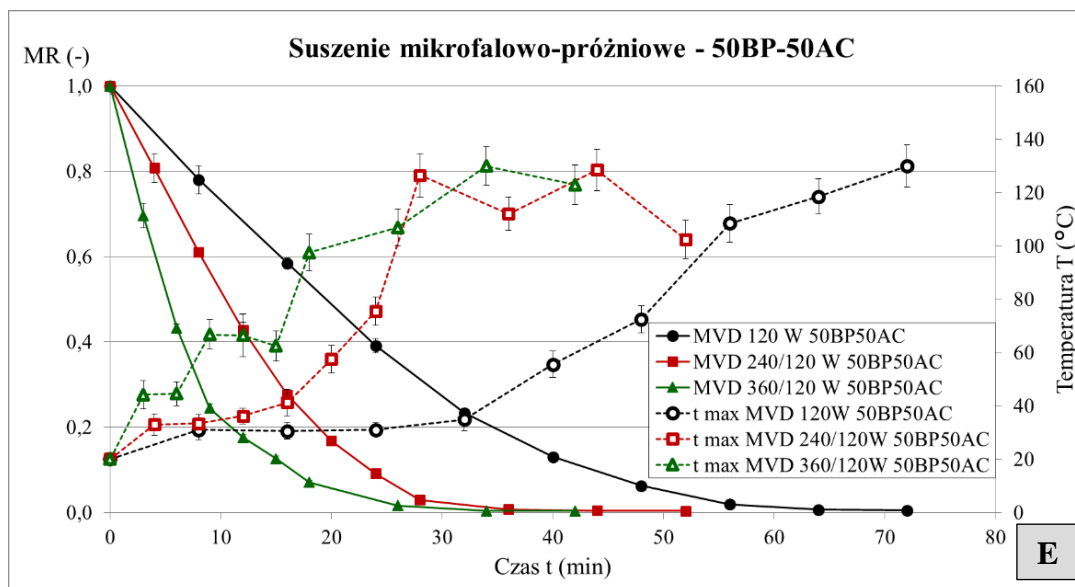


Rysunek 14. Zdjęcie kompozycji 50BP50BC (a, b, c) i 50BP50AC (a', b', c') po suszeniu konwekcyjnym w temperaturze 50, 60 i 70°C.

Podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego (MVD) badanych kompozycji (BP, BC, AC, 50BP-50BC, 50BP-50AC), wzrost mocy magnetronów (120, 240, 360 W) prowadził do wzrostu szybkości usuwania wody z materiału (Rys. 15), co wykazano również w badaniach dotyczących suszenia wyłoków z czarnej porzeczki (Michalska i in., 2017), wyłoków ze śliwek (Michalska i in., 2019), a także wyłoków z owoców granatowca (Cano-Lamadrid i in., 2018). W przypadku suszenia wyłoków z buraków (100BP) 3-krotny wzrost mocy magnetronów, ze 120 do 360 W spowodował 3-krotne skrócenie czasu suszenia. Ponadto dostrzeżono, że zastosowanie suszenia MVD w odniesieniu do wyłoków z buraków (100BP) pozwoliło skrócić czas suszenia średnio 6,5 razy, w przypadku kostek buraka (100BC) średnio o 11 razy, kostek jabłka (100AC) i kompozycji 50BP-50BC o ok. 8 razy, a w odniesieniu do kompozycji 50BP-50AC ok. 7 razy, w stosunku do czasu suszenia konwekcyjnego (CD). Dodatek kostek jabłka 100AC do wyłoków z buraka 100BP powoduje zwiększenie średniego czasu suszenia MVD kompozycji 50BP-50AC, w porównaniu do prób z kompozycji 50BP-50BC, natomiast w suszeniu CD nie obserwuje się istotnych różnic w czasie suszenia pomiędzy kompozycjami 50BP-50BC a 50BP-50BC.







Rysunek 15. Kinetyki suszenia mikrofalowo-próżniowego: a – wytlóków z buraka (100BP), B – kostek buraka (100BC), C – kostek jabłka (100AC), D – kompozycji wytlóków z buraka z kostkami buraka (50BP-50BC), E –kompozycji wytlóków z buraka z kostkami jabłka (50BP-50AC)

Nie zaobserwowano zależności pomiędzy kształtowaniem się efektu „puffingu” kostek buraka (BC) i kostek jabłek (AC), a skróceniem czasu suszenia mikrofalowo-próżniowego (MVD) kompozycji 50BP-50BC i 50BP-50AC. Poniżej zamieszczono zdjęcia kompozycji 50BP-50BC i 50BP-50AC dla 3-ech wariantów mocy MVD (Rys. 15). W przypadku kostek buraka po procesie MVD 120, 240 i 360 W (Rys. 16 a, b, c) obserwuje się efekt „puffingu”, zwłaszcza po zastosowaniu MVD240 W i MVD360 W, gdzie widoczne są mikropęknięcia spowodowane pochłanianiem energii mikrofalowej przez wodę znajdującą się we wnętrzu kostki. Przyczynia się to do powstania stosunkowo dużego ciśnienia pary wodnej wewnątrz kostki, co umożliwia szybki transfer tejże pary do otoczenia o obniżonym ciśnieniu i zapewnia utrzymanie, a nawet ekspansję struktury próbki, czego dowiedziono również na przykładzie kostki z jabłka i chipsów jabłkowych (Sham, Scaman, i Durance, 2001; Chong i in., 2011). Zupełnie odwrotne tendencje obserwuje się w przypadku kostek jabłka (Rys. 16. a’, b’, c’), gdzie niezależnie od zastosowanej mocy podczas suszenia MVD nie obserwuje się „puffingu”. Kostki jabłka w kompozycjach z wytlókami z buraka po suszeniu MVD wyglądają podobnie do kostek po suszeniu konwekcyjnym – następuje ich skurcz w stosunku do ich pierwotnego kształtu przed suszeniem, co wyraźnie jest widoczne na poniższych fotografiach, szczególnie po zastosowaniu MVD360 W. w badaniach dotyczących suszenia kostek jabłek m. in. z wykorzystaniem suszenia mikrofalowo-próżniowego o mocy 240 W, również nie dostrzeżono efektu „puffingu”, który nie odznacza się wyraźnie jako

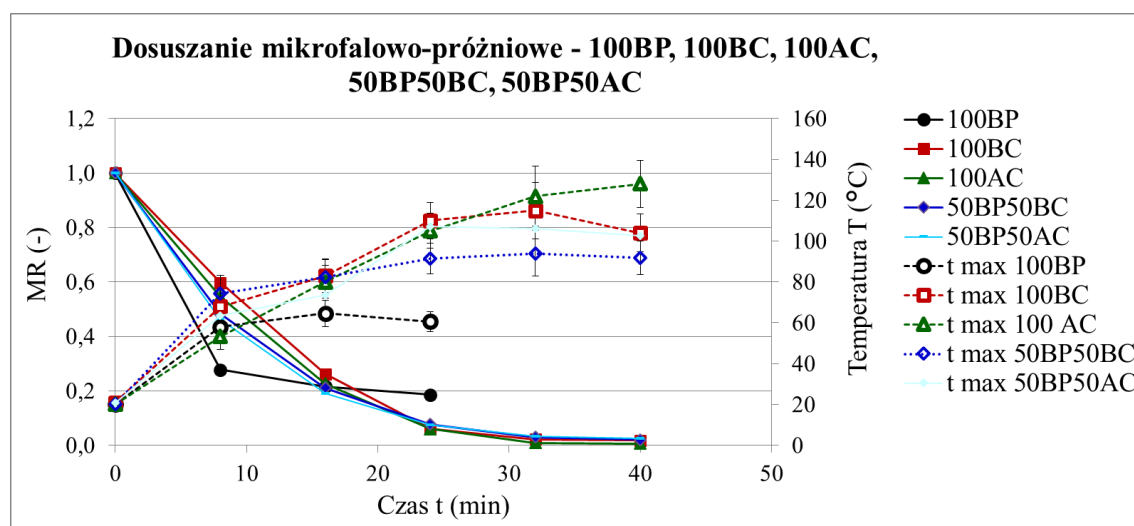
spulchnienie struktury materiału (Chong i in., 2011). Brak „puffingu” w przypadku kostek jabłka, w porównaniu z kostakami z buraka ćwikłowego, może być związany ze znacznie większą porowatością i tym samym mniejszą podatnością do generowania wysokiego ciśnienia wewnętrznego związanego z efektem Darcy’ego.





Rysunek 16. Zdjęcie kompozycji 50BP50BC (a, b, c) i 50BP50AC (a', b', c') po suszeniu mikrofalowo-próżniowym w mocy 120, 240 i 30 W.

W przypadku suszenia łączonego (P-CD60°C/F-MVD120 W) (Rys. 17) zaobserwowano, że wariant kompozycji i czas podsuszania P-CD (60°C), nie miały statystycznie istotnego wpływu na przebieg i czas dosuszania F-MVD. Prawdopodobnie było to spowodowane tym, że różnice w wilgotności próbek po suszeniu wstępnym (P-CD) były stosunkowo niewielkie, aby w sposób istotny przyczynić się do różnic w kinetyce dosuszania mikrofalowo-próżniowego.



Rysunek 17. Kinetyki dosuszania mikrofalowo-próżniowego dla 100BP – wycłoków z buraka, 100BC – kostek buraka, 100AC – kostek jabłka, 50BP-50BC – kompozycji wycłoków z buraka z kostkami buraka i 50BP-50AC – kompozycji wycłoków z buraka z kostkami jabłka.

Możliwe, że należałoby skrócić 2-krotnie czas podsuszania konwekcyjnego (do 30 min), co mogłoby wpłynąć na zwiększenie efektywności dosuszenia mikrofalowo-

próżniowego, co zasugerowano również w badaniach nad wyciekami z żurawiny (Ross i in., 2020). W przypadku suszenia wycieków z buraka (100BP) zaobserwowano najkrótszy czas dosuszania F-MVD, który był o 40% krótszy w stosunku do czasów dosuszania pozostałych kompozycji. Pozostałe próbki, niezależnie od rodzaju kostek, wysuszono w tym samym czasie (100 min), co pozwala twierdzić, że czas P-CD oraz udział dodatku kostek w wyciekach z buraka (100BP) nie wpływają w istotny sposób na kinetykę F-MVD. Naomiast warto zauważyć, że kompozycja z dodatkiem kostek buraka (BC) pozwala osiągnąć niższe temperatury procesu MVD w porównaniu do kompozycji z dodatkiem kostek jabłka (AC). Osiągnięcie wyższej temperatury kompozycji dodatkiem kostek jabłka w porównaniu z kompozycjami z dodatkiem kostek buraka może być nieoczekiwane w związku z większą porowatością mięzu jabłka i tym samym mniejszą podatnością do generowania wysokiego ciśnienia wewnętrznego, któremu towarzyszy wyższa temperatura. Wytlumaczeniem może być skład chemiczny mięszu jabłka charakteryzujący się większą zawartością molekuł generujących energię pod wpływem promieniowania mikrofalowego. Jednak ta hipoteza wymaga wyjaśnienia na podstawie dodatkowych badań.

7.2. Wpływ warunków suszenia na wybrane właściwości fizyczne wysuszonego produktu

7.2.1. Wycieki z borówki amerykańskiej

W tabeli 3 znajdują się wyniki analiz właściwości fizycznych 3-ech odmian wycieków borówki amerykańskiej.

Tabela 3 Wyniki analiz fizycznych wytlóków z borówki amerykańskiej trzech odmian.

Odmiana	Sposób suszenia	Czas suszenia	Maksymalna temperatura suszenia	Zawartość wody	Aktywność wody	Gęstość nasypowa
		(min)	(°C)	(%)	(-)	(g·cm ⁻³)
<i>Berkley</i>	FD	1440 ± 20 ^g	-60/30	2.10 ± 0.156 ^{ef}	0.06 ± 0.006 ^{abcde}	0.362 ± 0.005 ^a
	CD 50°C	360 ± 15 ^f	50 ± 2 ^a	2.51 ± 0.101 ^f	0.08 ± 0.002 ^{bcde}	0.433 ± 0.007 ^{bc}
	CD 70°C	300 ± 15 ^e	70 ± 2 ^{efg}	0.65 ± 0.207 ^{ab}	0.03 ± 0.000 ^{abc}	0.447 ± 0.007 ^{bcde}
	CD 90°C	210 ± 10 ^d	90 ± 2 ^g	0.66 ± 0.090 ^{ab}	0.02 ± 0.005 ^a	0.470 ± 0.006 ^{cde}
	MVD 480/120 W	44 ± 2 ^a	71 ± 5 ^{efg}	2.52 ± 0.119 ^f	0.08 ± 0.003 ^{abcde}	0.460 ± 0.002 ^{bcde}
	CD 50°C/MVD	148 ± 4 ^c	64 ± 2 ^{cde}	2.21 ± 0.216 ^{ef}	0.06 ± 0.002 ^{abcde}	0.435 ± 0.001 ^{bcd}
	CD 70°C/MVD	136 ± 4 ^b	60 ± 2 ^{bcd}	1.53 ± 0.092 ^{bcde}	0.05 ± 0.003 ^{abcde}	0.456 ± 0.005 ^{bcde}
	CD 90°C/MVD	132 ± 4 ^b	70 ± 3 ^{efg}	0.75 ± 0.047 ^{ab}	0.04 ± 0.002 ^{abcd}	0.449 ± 0.006 ^{bcde}
<i>Bluecrop</i>	FD	1440 ± 20 ^g	-60/30	1.34 ± 0.096 ^{bcde}	0.08 ± 0.005 ^{cde}	0.458 ± 0.008 ^a
	CD 50°C	360 ± 15 ^f	50 ± 2 ^a	1.04 ± 0.235 ^{abc}	0.10 ± 0.004 ^e	0.471 ± 0.008 ^{bcde}
	CD 70°C	300 ± 15 ^e	70 ± 2 ^{efg}	0.75 ± 0.394 ^{ab}	0.04 ± 0.003 ^{abcd}	0.457 ± 0.011 ^{de}
	CD 90°C	240 ± 10 ^d	90 ± 2 ^g	0.36 ± 0.049 ^a	0.03 ± 0.007 ^{abc}	0.483 ± 0.001 ^{bcde}
	MVD 480/120 W	46 ± 2 ^a	75 ± 5 ^{fg}	1.54 ± 0.660 ^{bcde}	0.09 ± 0.002 ^{abcde}	0.458 ± 0.003 ^e
	CD 50°C/MVD	184 ± 4 ^c	68 ± 2 ^{def}	0.98 ± 0.114 ^{abc}	0.05 ± 0.000 ^{abcde}	0.446 ± 0.006 ^{bcde}
	CD 70°C/MVD	140 ± 4 ^b	57 ± 2 ^{abc}	1.74 ± 0.075 ^{cdef}	0.10 ± 0.004 ^{abcde}	0.460 ± 0.018 ^{de}
	CD 90°C/MVD	136 ± 4 ^b	70 ± 3 ^{efg}	0.69 ± 0.075 ^{ab}	0.08 ± 0.005 ^{abcde}	0.365 ± 0.004 ^{bcde}
<i>Bluejay</i>	FD	1440 ± 20 ^g	-60/30	1.42 ± 0.106 ^{bcde}	0.08 ± 0.004 ^{abcde}	0.375 ± 0.016 ^a
	CD 50°C	360 ± 15 ^f	50 ± 2 ^a	1.97 ± 0.258 ^{def}	0.10 ± 0.003 ^{abcde}	0.431 ± 0.022 ^b
	CD 70°C	300 ± 15 ^e	70 ± 2 ^{efg}	0.77 ± 0.065 ^{ab}	0.04 ± 0.005 ^{abcd}	0.432 ± 0.005 ^b
	CD 90°C	240 ± 10 ^d	90 ± 2 ^g	0.35 ± 0.306 ^a	0.04 ± 0.005 ^{abcd}	0.445 ± 0.007 ^{bcd}
	MVD 480/120 W	44 ± 2 ^a	78 ± 5 ^g	1.18 ± 0.341 ^{abcd}	0.06 ± 0.002 ^{de}	0.442 ± 0.001 ^{bcd}
	CD 50°C/MVD	192 ± 4 ^c	64 ± 2 ^{cde}	1.42 ± 0.137 ^{bcde}	0.05 ± 0.003 ^{abcde}	0.436 ± 0.015 ^{bcd}
	CD 70°C/MVD	132 ± 4 ^b	53 ± 2 ^{ab}	1.06 ± 0.182 ^{abc}	0.07 ± 0.005 ^{abcd}	0.441 ± 0.003 ^{bcd}
	CD 90°C/MVD	136 ± 4 ^b	70 ± 3 ^{efg}	0.99 ± 0.064 ^{abc}	0.06 ± 0.005 ^{abcde}	0.425 ± 0.007 ^b

Początkowa zawartość wody wytlóków z borówki odmiany *Berkley*, *Bluejay* i *Bluecrop* wynosiła odpowiednio 1,46, 1,29 i 1,82 kg H₂O·kg s.s.⁻¹ (kg wody/kg suchej substancji). Wyniki wilgotności dla wytlóków wybranych odmian borówki były zróżnicowane w zależności od zastosowanego sposobu suszenia i mieściły się w przedziale 0,35 – 2,52%, przy czym najniższą wartością charakteryzowały się wytloki odmiany *Bluejay* po suszeniu konwekcyjnym w 90°C (CD 90°C), a najwyższą wytloki odmiany *Berkley* po suszeniu mikrofalowo-próżniowym (MVD 480/120 W). Wilgotność proszków z wytlóków borówki amerykańskiej otrzymanych po procesie liofilizacji była najwyższa dla wytlóków odmiany *Berkley* (2,10%), a najniższa dla proszków z wytlóków odmiany *Bluecrop* (1,34%). Wartości wilgotności liofilizatów były porównywalne z wartościami otrzymanymi dla suszenia mikrofalowo-próżniowego (MVD 480/120 W) i suszenia łączonego (CD50°C/MVD120 W). Najwyższe średnie wartości wilgotności odnotowano dla wytlóków odmiany *Berkley* (1,62%), a najniższe średnie wartości dla wytlóków odmiany *Bluecrop* (1,06%). w przypadku wszystkich analizowanych odmian

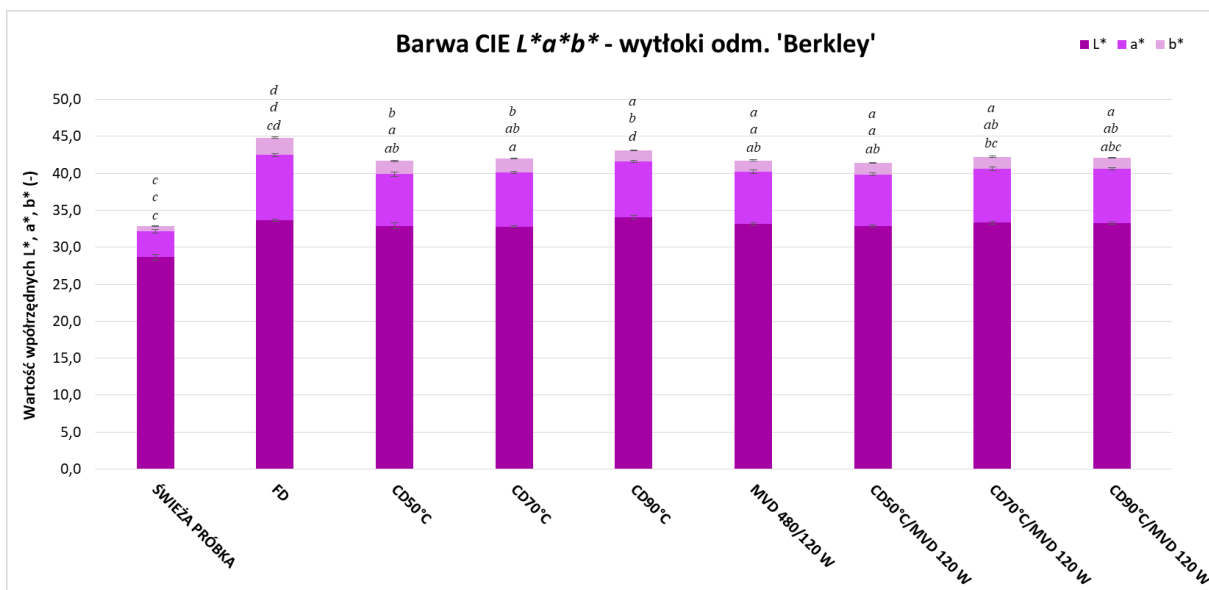
wytłoków z borówki amerykańskiej zaobserwowano spadek wilgotności wraz ze wzrostem temperatury w suszeniu konwekcyjnym, przy czym najniższe wilgotności w stosunku do pozostałych metod suszenia uzyskano po suszeniu w 90°C. Dla odmian *Berkley* i *Blujay* wraz ze wzrostem temperatury podsuszania w suszeniu łączonym (CD-MVD) wartość wilgotności uległa zmniejszeniu, natomiast dla odmiany *Bluecrop* zaobserwowano niemal 2-krotny wzrost wilgotności proszków po podsuszaniu w 70°C w stosunku do wilgotności uzyskanej po podsuszaniu w temperaturze 50°C.

Aktywność wody dla trzech odmian wytłoków z borówki amerykańskiej przyjęła wartości od 0,025 (odmiana *Bluecrop*, CD 90°C) do 0,102 (odmiana *Bluecrop*, CD 50°C). Najwyższy współczynnik korelacji aktywności wody z wilgotnością wykazały proszki z wytłoków borówki amerykańskiej odmiany *Berkley* (0,98), a najmniejszy wytłoki odmiany *Bluecrop* (0,78). Dodatkowo dostrzeżono, że najniższe średnie wartości aktywności wody dla proszków z wytłoków borówki amerykańskiej uzyskano dla odmiany *Berkley*, a najwyższe dla odmiany *Bluecrop*. Zaobserwowano, że w przypadku wartości wilgotności tych proszków odnotowano odwrotne tendencje – najniższe wartości wilgotności dla proszków z wytłoków borówki amerykańskiej *Bluecrop*, a najwyższe dla odmiany *Berkley*. Oprócz tego dostrzeżono, że w przypadku wszystkich trzech odmian najniższe aktywności wody uzyskano po suszeniu mikrofalowo-próżniowym MVD480/120 w i suszeniu konwekcyjnym w CD90°C spośród zastosowanych sposobów suszenia. z kolei najwyższe wartości aktywności wody proszków wytłoków z borówki amerykańskiej (3 odmiany) odnotowano po suszeniu konwekcyjnym CD 50°C. Wzrost temperatury w suszeniu konwekcyjnym powoduje spadek aktywności wody, związany z mniejszą wartością równowagowej zawartości wody, co potwierdzają badania przeprowadzone na innych wytłokach owocowo-warzywnych (Michalska, Wojdyło, Lech i in., 2017; Michalska i in., 2019; Janiszewska-Turak i in., 2021). w przypadku wszystkich trzech odmian wytłoków z borówki amerykańskiej zaobserwowano, że wzrost temperatury z 50 do 70°C powoduje obniżenie aktywności wody o 36% dla wytłoków odmiany *Berkley Bluecrop*, natomiast dla proszków z wytłoków odmiany *Bluejay* o 41%.

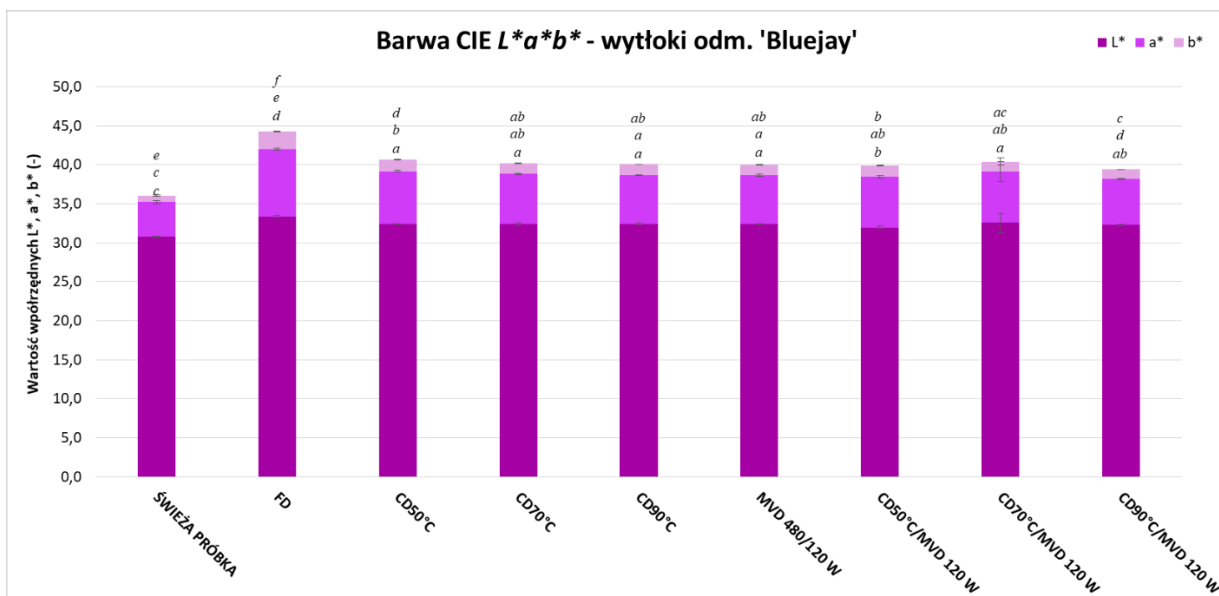
Wartości gęstości nasypowej dla proszków otrzymanych z trzech odmian wytłoków borówki amerykańskiej obejmowały wartości od 0,362 do 0,483 g·cm⁻³. Podobne wyniki uzyskano dla suszonych wytłoków ze śliwek, czarnej porzeczki i czarnego bzu (Michalska, Wojdyło, Lech, i in. 2017; Michalska i in., 2019; Nemetz i in.,

2021). Wyniki analizy gęstości nasypowej wykazały, że najwyższe średnie wartości przypadają dla proszków z wyłoków borówki amerykańskiej odmiany *Bluecrop*, a najniższe średnie wartości gęstości nasypowej dla proszków odmiany *Bluejay*. Dodatkowo zaobserwowano, że po procesie liofilizacji (FD) dla wszystkich trzech odmian wyłoków borówki amerykańskiej odnotowano najniższe wartości gęstości nasypowej w stosunku do pozostałych sposobów suszenia, co spowodowane było różnicą w strukturze otrzymanego suszu. Podczas liofilizacji (FD) materiał przyjmuje strukturę amorficzną, a podczas suszenia konwekcyjnego (CD) lub mikrofalowo próżniowego (MVD) – krystaliczną, a struktura krystaliczna wytwarza cząstki cięższe, co sprawia, że w tej samej objętości materiał posiada większą masę niż w przypadku cząstek o strukturze amorficznej, co ma bezpośredni wpływ na wartość gęstości nasypowej (Cuq, Mandato, Jeantet, Saleh i Ruiz, 2013). W przypadku odmiany *Bluejay* i *Bluecrop* nie zaobserwowano istotnych różnic statystycznych w uzyskanych wynikach. Jedynie w przypadku proszków z wyłoków odmiany *Berkley* zaobserwowano, że wzrost temperatury w suszeniu konwekcyjnym powoduje wzrost gęstości nasypowej.

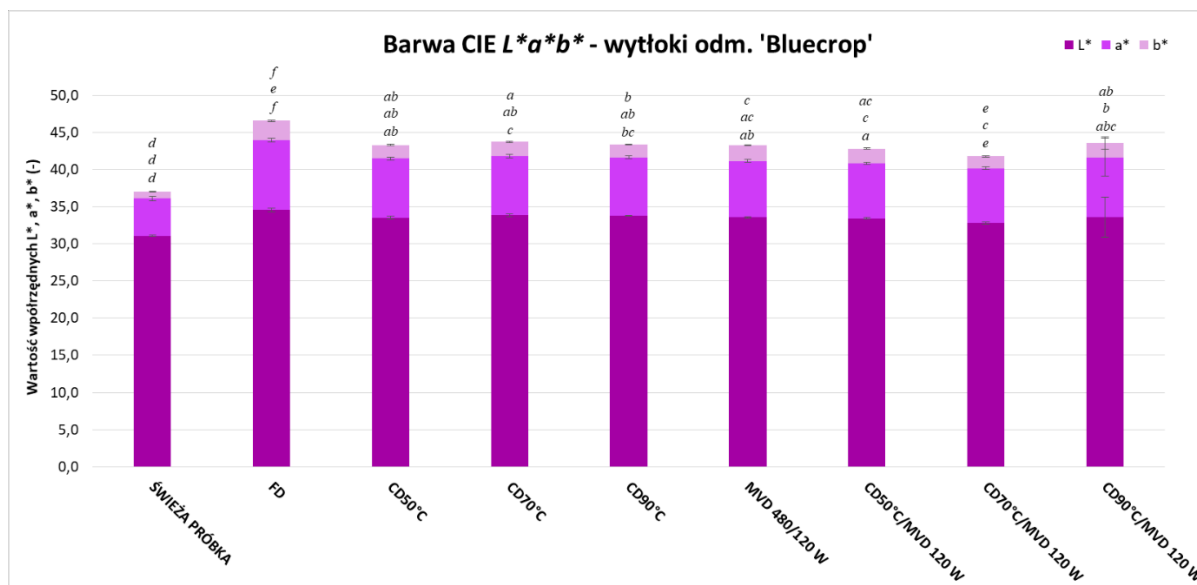
Barwa proszków z wyłoków borówki amerykańskiej dla trzech odmian została przedstawiona w postaci wykresów słupkowych przedstawionych poniżej (Rys. 18). Analiza barwy pozwoliła stwierdzić, że najniższą wartość koordynaty L^* spośród badanych próbek miały świeże wyłoki odmiany *Berkley* ($L^*=28,65$). Wartości tego parametru dla pozostałych dwóch odmian wynosiły odpowiednio 30,74 dla odmiany wyłoków *Bluejay* i 31,08 dla wyłoków odmiany *Bluecrop*. Analiza barwy wykazała, że wartości parametru L^* były na zbliżonym poziomie dla wszystkich trzech odmian wyłoków z borówki amerykańskich dla suszenia konwekcyjnego (CD), mikrofalowo próżniowego (MVD) i łączonego (CD-MVD). Nie zaobserwowano przy tym istotnych różnic statystycznych, co dostrzeżono również w przypadku parametrów barwy określonych dla wyłoków z borówki odmiany *Bluecrop* (Zielińska i Michalska, 2018), a także wyłoków z czarnej porzeczki (Michalska, Wojdyło, Lech i in., 2017). Natomiast w przypadku proszków z wyłoków borówki amerykańskiej po procesie liofilizacji (FD) zaobserwowano, że wartości koordynaty L^* , a^* i b^* były wyższe średnio o 5% dla parametru L^* , o 20% dla parametru a^* i o 30% dla parametru b^* w stosunku do pozostałych sposobów suszenia, co obserwowano również dla wyłoków z borówki amerykańskiej aplikowanych do wyrobów piekarskich (Irigoytia i in., 2022).



Rysunek 18. Parametry barwy CIE $L^*a^*b^*$ dla wycieków z borówki amerykańskiej odmiany 'Berkley'.



Rysunek 19. Parametry barwy CIE $L^*a^*b^*$ dla wycieków z borówki amerykańskiej odmiany 'Bluejay'.



Rysunek 20. Parametry barwy CIE L*a*b* dla wytlóków z borówki amerykańskiej odmiany 'Bluecrop'.

7.2.2. Wytlóki z żurawiny

W Tabeli 4 zawarto wyniki analiz właściwości fizycznych proszków z wytlóków i owoców żurawiny. Wilgotność suszy otrzymanych z mieszanek żurawinowych w *wariancie I* wahała się od 3,64 (C10-P90) do 6,43% (C5-P95). Wilgotności proszków otrzymanych z kompozycji wytlóków i owoców żurawiny były charakterystyczne dla tego typu materiałów, co potwierdzają inne badania (Tarko i in., 2012; Wray i Ramaswamy, 2015; Michalska i in., 2016; Rajkumar i in., 2017; Lachowicz i in., 2019). w odniesieniu do *wariantu II* wilgotność proszków żurawinowych wahała się od 2,85 (COD) do 4,09% (COD5-P95). Wprowadzenie odwadnianych osmotycznie owoców żurawiny (COD) pozwoliło na uzyskanie średniej wilgotności proszków niższej o 1/3 w porównaniu do wilgotności proszków otrzymanych w *wariancie I*. w przypadku odwodnionych osmotycznie owoców żurawiny (COD) uzyskano wilgotność niemal o połowę niższą niż wilgotność owoców, które nie zostały poddane odwadnianiu osmotycznemu. Uzyskane wyniki są zgodne z rezultatami Nistora i innych (2017) świadczącymi, że końcowa wilgotność proszków zależy od zastosowanej obróbki wstępnej owoców przed suszeniem, polegającej na odwadnianiu osmotycznym owoców żurawiny.

Aktywność wody proszków otrzymanych z mieszanek z wytlóków żurawinowych (Tabela 4) wahała się od 0,179 dla CF do 0,210 dla CP (*wariant I*) oraz od 0,112 dla COD do 0,221 dla mieszanki COD5-CP95 (*wariant II*). Wilgotność

proszków jest silnie skorelowana z ich aktywnością wody, co potwierdzają badania nad suszami z owoców śliwki (Michalska i in., 2016). Nieco wyższe wartości aktywności wody odnotowano dla proszków z wytlóków z czarnej porzeczki (0,250) wysuszonych łączonym sposobem (CD60°C/MVD480 W) oraz dla proszków z owoców miechunki peruwiańskiej (0,304; 0,232) otrzymanych za pomocą suszenia mikrofalowo-próżniowego (MVD 120 W, MVD 480 W) (Michalska, Wojdyło, Łysiak i in., 2017; Nawirska-Olszańska i in., 2017), mimo zastosowania w obu przypadkach większej mocy mikrofal przy takim samym podejściu metodycznym dotyczącym decyzji o zakończeniu procesu suszenia. Świadczy to o tym, że na wartość aktywności wody wysuszonego produktu, skorelowaną z jego wilgotnością, w znacznym stopniu wpływa rodzaj surowca. Zaobserwowano, że dla obu wariantów najniższe wartości aktywności wody uzyskano dla samych owoców żurawiny, przy czym wartość dla owoców nie poddanych odwadnianiu osmotycznemu była niemal dwukrotnie wyższa niż dla owoców, które zostały poddane temu procesowi (CF – 0,179 oraz COD – 0,112). Świadczy to o tym, że wprowadzenie do struktury komórkowej materiału roślinnego suchej substancji pochodzącej z zagęszczonego soku podczas odwadniania osmotycznego sprzyja uzyskaniu mniejszej wartości stosunku masy wody do masy suchej substancji w wysuszonym produkcie.

Tabela 4. Właściwości fizyczne kompozycji na bazie wycieków z żurawiny z dodatkiem funkcjonalnym w postaci owoców żurawiny.

Wariant	Próba	Warunki suszenia		Zawartość wody (%)	Aktywność wody (-)	Gęstość właściwa (g·cm ⁻³)	Gęstość nasypowa (g·cm ⁻³)	Porowatość (%)	Parametry barwy		
		Czas dosuszania (min)	Max. temperatura podsuszania (°C)						L*	a*	b*
I	CF	27 ± 4 ^a	71 ± 2 ^a	4.76 ± 0.04 ^f	0.18 ± 0.001 ^a	1.48 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.004 ^b	67.27 ± 0.80 ^c	40.62 ± 0.22 ^d	36.58 ± 0.15 ^h	11.08 ± 0.07 ^h
	CP	22 ± 4 ^a	70 ± 2 ^a	3.95 ± 0.05 ^b	0.21 ± 0.001 ^a	1.44 ± 0.02 ^a	0.40 ± 0.005 ^a	72.23 ± 0.10 ^b	38.57 ± 0.15 ^{ab}	32.17 ± 0.39 ^a	9.88 ± 0.06 ^a
	CF5-CP95	24 ± 4 ^a	74 ± 2 ^a	6.43 ± 0.03 ^g	0.20 ± 0.001 ^a	1.42 ± 0.02 ^a	0.40 ± 0.03 ^a	71.80 ± 1.43 ^{ab}	38.54 ± 0.21 ^{ab}	32.29 ± 0.29 ^{ac}	9.83 ± 0.12 ^a
	CF10-CP90	30 ± 4 ^a	72 ± 2 ^a	3.64 ± 0.05 ^a	0.10 ± 0.119 ^a	1.44 ± 0.02 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	71.22 ± 1.32 ^{ab}	38.73 ± 0.09 ^a	32.27 ± 0.28 ^a	9.83 ± 0.10 ^a
	CF20-CP80	27 ± 4 ^a	72 ± 2 ^a	3.68 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.001 ^a	1.42 ± 0.02 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	70.85 ± 0.18 ^{ab}	39.33 ± 0.20 ^c	32.76 ± 0.17 ^c	10.09 ± 0.05 ^f
	CF30-CP70	24 ± 4 ^a	70 ± 2 ^a	4.18 ± 0.01 ^c	0.20 ± 0.001 ^a	1.43 ± 0.01 ^a	0.43 ± 0.02 ^a	70.05 ± 1.24 ^{ab}	40.76 ± 0.08 ^d	34.5 ± 0.16 ^g	10.87 ± 0.08 ^g
II	COD	30 ± 4 ^a	90 ± 3 ^c	2.85 ± 0.11 ^d	0.11 ± 0.002 ^a	1.48 ± 0.01 ^a	0.56 ± 0.02 ^c	62.25 ± 1.9 ^{ab}	32.85 ± 0.03 ^e	21.52 ± 0.08 ^d	4.54 ± 0.03 ^c
	COD5-CP95	27 ± 4 ^a	71 ± 2 ^a	4.09 ± 0.02 ^{bc}	0.22 ± 0.003 ^a	1.43 ± 0.01 ^a	0.41 ± 0.003 ^a	71.27 ± 0.41 ^{ab}	38.72 ± 0.17 ^a	31.20 ± 0.1 ^b	9.09 ± 0.02 ^b
	COD10-CP90	30 ± 4 ^a	72 ± 2 ^a	3.55 ± 0.02 ^a	0.19 ± 0.001 ^a	1.44 ± 0.004 ^a	0.45 ± 0.01 ^{ab}	68.85 ± 0.9 ^{ab}	39.42 ± 0.08 ^c	31.44 ± 0.11 ^b	9.11 ± 0.03 ^b
	COD20-CP80	30 ± 4 ^a	82 ± 3 ^b	3.10 ± 0.01 ^e	0.15 ± 0.001 ^a	1.43 ± 0.02 ^a	0.44 ± 0.01 ^{ab}	69.01 ± 1.68 ^a	38.31 ± 0.06 ^b	29.46 ± 0.20 ^f	8.01 ± 0.08 ^e
	COD30-CP70	27 ± 4 ^a	85 ± 3 ^{bc}	3.56 ± 0.03 ^a	0.17 ± 0.001 ^a	1.44 ± 0.02 ^a	0.45 ± 0.004 ^{ab}	69.07 ± 0.28 ^a	37.43 ± 0.10 ^f	28.34 ± 0.26 ^e	7.46 ± 0.12 ^d

Gęstość właściwa badanych proszków (Tabela 4), zarówno w *wariacie I* jak i *wariacie II* była na podobnym poziomie, a ich średnie wartości wynosiły odpowiednio $1,438 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ oraz $1,444 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Nie zauważono znaczących różnic w gęstości właściwej pomiędzy wariantami, co wykazała również Michalska i in. (2017) podczas suszenia wyłoków z czarnej porzeczki. Badania wykazały, że gęstość właściwa proszków z wyłoków z czarnej porzeczki osiąga wartość $1,214 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, przy czym wartość ta jest o 15% mniejsza niż w przypadku proszków uzyskanych z kompozycji żurawinowych. Prawdopodobnie obecność owoców żurawiny w kompozycji z wyłokami, może mieć wpływ na wzrost wartości gęstości właściwej suszu.

Analizy właściwości fizycznych proszków z owoców śliwki wysuszonych łączonym sposobem potwierdziły, że gęstość właściwa tych proszków jest na zbliżonym poziomie – $1,554 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do wartości gęstości mieszanek z żurawiny (Michalska i in., 2016). w przypadku gęstości nasypowej badanych proszków żurawinowych najwyższą wartość, dla obu wariantów, odnotowano dla całych owoców (CF, COD), która wynosiła 0,485 (wariant I) oraz $0,559 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (wariant II). Podobnie wyniki gęstości nasypowej uzyskano w przypadku proszków z owoców śliwki, wyłoków z czarnej porzeczki, a także owoców morwy (Erdoğan i in., 2012; Michalska i in., 2016; Michalska, Wojdyło, Łysiak i in., 2017). Zwiększenie udziału procentowego całych owoców żurawiny (CF, COD) z 5 do 30% spowodowało nieznaczny wzrost wartości gęstości nasypowej do 0,429 (*wariant I*) oraz do $0,447 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (*wariant II*) (C30-CP70). Wprowadzenie owoców żurawiny odwadnianych osmotycznie w soku aroniowym do kompozycji z wyłokami spowodowało nieznaczny wzrost gęstości nasypowej proszków w stosunku do *wariantu I*.

Wyniki porowatości zawarte w Tabeli 4 dla *wariantu I* mieszczą się w zakresie od 67,27% dla suszu owocowego (CF) do 72,23% dla proszków z wyłoków z żurawiny (CP). Wartość porowatości jest ściśle powiązana z gęstością właściwą i nasypową, co wyraża wzór (3) zamieszczony w części metodycznej. Zaobserwowano nieznaczny spadek porowatości wraz ze wzrostem wilgotności mieszanek, co wykazano również w badaniach nad suszonymi owocami morwy (Erdoğan i in., 2012). Jest to związane z tym, że gęstość wody jest mniejsza od gęstości właściwej suchego proszku. Ponadto zauważono, że wraz ze zwiększającym się udziałem owoców żurawiny w kompozycji porowatość proszków maleje do 70,05% (C30-CP70). Z kolei porowatość wyłoków z czarnej porzeczki była niższa o ok. 25% w porównaniu do samych wyłoków z żurawiny (CP) (Michalska, Wojdyło, Łysiak i in., 2017). Wprowadzenie owoców żurawiny poddanych procesowi odwadniania osmotycznego, spowodowało nieznaczne obniżenie porowatości kompozycji, przy czym jej wartości malały

wraz ze wzrostem udziału odwadnianych owoców żurawiny (COD). Próbki składające się wyłącznie z odwadnianych owoców żurawiny (COD) posiadały niższą o 5% wartość porowatości w stosunku do owoców nie poddanych obróbce odwadniania (CF). Powyższe spostrzeżenia świadczą o tym, że porowatość proszków powstałych z różnych kombinacji owoców odwadnianych i nieodwadnianych oraz wycieków zależy głównie od zmian gęstości usypowej biorąc pod uwagę stosunkowo niewielkie różnice wartości gęstości właściwej.

Biorąc pod uwagę barwę proszków stwierdzono, że w obu wariantach uzyskano produkt o zabarwieniu ciemno bordowym. w *wariacie I* i największe wartości parametrów L^* , a^* oraz b^* odnotowano dla CF oraz dla CF30-CP70 (Tabela 4). Podobne wartości parametrów opisujących barwę (L^* , a^* , b^*) uzyskali Wray i Ramaswamy (2015) podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców żurawiny przy zastosowanej początkowej mocy 1020 W, którą następnie zredukowano do 200 W, a później do 100 W. w przypadku suszenia łączonego wycieków z czarnej porzeczki (CD60°C/MVD480 W) uzyskano podobne parametry barwy (L^* , a^* i b^*) (Michalska, Wojdyło, Łysiak i in., 2017). Wartości parametru L^* wynosiły średnio 39,43 (*wariant I*) oraz 37,35 (*wariant II*) i wartości były zbliżone do wyników uzyskanych dla proszków z wycieków z moreli, które suszono konwekcyjnie w temperaturze m. in. 60°C (Kayran i Doymaz, 2017). Z kolei, różnica w kolorze pomiędzy wyciekami z moreli, a żurawiny wynika m. in. z zawartych w tych surowcach związkach (np. polifenolach). Dla mieszanek owoców i wycieków z żurawiny wartość a^* była na poziomie ok. 33, a parametru b^* - 10, co w stosunku do parametrów samych wycieków z moreli dało wynik ok. 3 razy wyższy dla parametru a^* oraz 2 razy niższy w stosunku do parametru b^* (Kayran i Doymaz, 2017). Ponadto zaobserwowano, że im większy udział całych owoców (CF) w mieszance, tym proszki były jaśniejsze. Dodatek odwodnionych owoców żurawiny w soku aroniowym (COD) (*wariant II*) do kompozycji spowodował nieznaczny spadek wartości opisywanych parametrów (L^* , a^* , b^*), co w efekcie dało proszki ciemniejsze w stosunku do proszków *wariantu I*, co można wyjaśnić zawartością antocyjanów pochodzących z soku aroniowego. Potwierdzają to również badania nad plasterkami jabłek odwadnianych osmotycznie w koncentracji soku aroniowego, czy też nad owocami granatu odwadnianych w soku z tego owocu, gdzie zaobserwowano wpływ soku aroniowego na pociemnienie barwy badanej próbki (Cano-Lamadrid i in., 2017; Samborska i in., 2019).

7.2.3. Wytłoki z buraka ćwikłowego

Podczas suszenia konwekcyjnego (CD) wytłoków z buraka (BP) w temperaturze 70°C pozwoliło uzyskać wilgotność końcową niższą o 25% niż po suszeniu konwekcyjnym w temperaturze 50°C, a wyniki właściwości fizycznych przedstawia Tabela 5. Zastosowanie suszenia mikrofalowo-próżniowego (MVD) pozwoliło otrzymać wartość wilgotności końcowej suszu na podobnym poziomie jak w przypadku suszenia konwekcyjnego (CD). Zaobserwowano przy tym, że poziom mocy podczas suszenia MVD nie wpłynęła istotnie na otrzymane wyniki. Połączenie suszenia CD w temperaturze 60°C oraz MVD o mocy 120 w pozwoliło uzyskać wilgotność końcową BP na poziomie podobnym do tego, który charakteryzował suszenie CD50°C, ale w znacznie krótszym czasie. Zastosowanie suszenia sublimacyjnego (FD) skutkowało uzyskaniem najniższej wilgotności wytłoków z buraka (BP) spośród pozostałych sposobów suszenia. Podsumowując analizę wilgotności końcowych BP nie zaobserwowano istotnych różnic statystycznych w odniesieniu do zastosowanych sposobów suszenia.

W przypadku wilgotności końcowej kostek z buraka (BC) suszenie CD spowodowało uzyskanie relatywnie wysokich wartości wilgotności końcowej w stosunku do pozostałych sposobów suszenia, których wartość średnia wynosi blisko 9%. Struktura buraka utrudnia odparowanie wody podczas suszenia CD z wnętrza materiału z uwagi na tworzące się twarde struktury na jego powierzchni, co uniemożliwia późniejsze odparowanie wody z jego wnętrza. Również kształt i forma suszonego materiału wpływa na efektywność odparowania wody z tego materiału, czego dowiedziono na przykładzie suszenia czosnku metodą mikrofalowo-próżniową (Figiel, 2010), który w formie plastrów sprawiał trudności w usunięciu wody z jego wnętrza, w przeciwieństwie do suszenia całych ząbków. z kolei, w przypadku suszenia konwekcyjnego zaobserwowano odwrotną tendencję. z tego powodu suszenie CD50°C nie jest rekomendowanym sposobem usuwania wilgoci z kostek buraka. Natomiast zastosowanie suszenia MVD w odniesieniu do tej kompozycji (BC) pozwoliło aż 3-krotnie zmniejszyć wartości wilgotności końcowych w stosunku do suszenia CD, co można wyjaśnić charakterem suszenia mikrofalowo-próżniowego (MVD). Wykorzystanie energii mikrofalowej i dodatkowo obniżonego ciśnienia powoduje, że woda usuwana jest od wnętrza do zewnętrznych warstw materiału, dzięki czemu można uniknąć tworzenia się twardych struktur na jego powierzchni, pozwalając na efektywne odparowanie wody, czemu towarzyszy efekt „puffingu”. Natomiast zastosowanie suszenia łącznego (CD60°C/MVD120 W) dla kostek

buraka pozwoliło na uzyskanie wilgotności końcowej zbliżonej do tej, którą otrzymano stosując suszenie MVD 120W. Kostki z buraka (BC) poddane suszeniu sublimacyjnemu charakteryzowały się podobną wilgotnością do tych, które zostały wysuszone konwekcyjnie w 70°C (CD70°C).

Tabela 5. Właściwości fizyczne kompozycji na bazie wycieków z buraka z dodatkiem funkcjonalnym w postaci kostek buraka i jabłka.

Kompozycja	Sposób suszenia	Zawartość wody		Aktywność wody			Parametry barwy		
		(%)	(-)	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>			
100BP	FD	3.58 ± 0.001 ^{fg hijk}	0.1525 ± 0.004 ^{cd}	47.26 ± 0.100 ^{ij}	19.33 ± 0.205 ^{op}	6.48 ± 0.077 ^{fg h}			
	CD50°C	4.86 ± 0.001 ^{mno}	0.2296 ± 0.007 ⁿ	46.68 ± 0.098 ^{ij}	15.11 ± 0.160 ^{ij}	6.58 ± 0.099 ^{gh}			
	CD60°C	3.98 ± 0.050 ^{ijk}	0.1869 ± 0.009 ^{lm}	46.56 ± 0.294 ^{ij}	15.46 ± 0.259 ^{ijk}	6.35 ± 0.110 ^{fg h}			
	CD70°C	3.80 ± 0.078 ^{hijk}	0.1960 ± 0.010 ^{hi}	46.38 ± 0.393 ^{ij}	14.08 ± 0.306 ^h	7.24 ± 0.194 ^{ij}			
	MVD120 W	3.94 ± 0.009 ^{ijk}	0.1635 ± 0.009 ^e	46.55 ± 0.293 ^{ij}	15.01 ± 0.211 ^{ij}	6.63 ± 0.125 ^{gh}			
	MVD240 W	3.86 ± 0.043 ^{hijk}	0.1694 ± 0.007 ^{fg}	46.51 ± 0.364 ^{ij}	15.03 ± 0.291 ⁱ	6.83 ± 0.151 ^{hi}			
	MVD360 W	3.99 ± 0.008 ^{ijk}	0.2165 ± 0.007 ^b	46.11 ± 0.311 ^{ij}	16.59 ± 0.318 ^{nm}	6.01 ± 0.133 ^{efg}			
	CD60°C/MVD120 W	4.51 ± 0.009 ^{lmn}	0.1850 ± 0.006 ^{lm}	45.61 ± 0.372 ^{hi}	15.11 ± 0.254 ^{ij}	6.43 ± 0.112 ^{fg h}			
100BC	FD	6.79 ± 0.018 ^{qr}	0.3516 ± 0.001 ^o	35.45 ± 0.172 ^c	31.92 ± 0.105 ^y	4.08 ± 0.053 ^{bc}			
	CD50°C	10.76 ± 0.120 ^f	0.4937 ± 0.000 ^o	30.45 ± 0.366 ^a	11.82 ± 0.162 ^f	2.33 ± 0.027 ^a			
	CD60°C	8.07 ± 0.359 ^c	0.3620 ± 0.001 ⁿ	32.92 ± 0.354 ^b	19.99 ± 0.304 ^p	3.83 ± 0.063 ^b			
	CD70°C	7.57 ± 0.105 ^{rs}	0.3369 ± 0.001 ^k	33.64 ± 0.602 ^b	24.79 ± 0.902 ^v	4.85 ± 0.232 ^d			
	MVD120 W	2.50 ± 0.083 ^{abcde}	0.1589 ± 0.004 ^{ij}	44.83 ± 0.185 ^{gh}	30.13 ± 0.410 ^{wx}	10.70 ± 0.200 ^p			
	MVD240 W	3.50 ± 0.124 ^{fg hij}	0.2027 ± 0.005 ^f	40.17 ± 0.364 ^d	29.78 ± 0.450 ^w	7.70 ± 0.111 ^{jk}			
	MVD360 W	2.38 ± 0.013 ^{abcd}	0.1608 ± 0.004 ^{fg h}	43.18 ± 0.316 ^e	29.85 ± 0.704 ^w	9.27 ± 0.296 ^m			
	CD60°C/MVD120 W	3.28 ± 0.006 ^{defghi}	0.2148 ± 0.006 ^{gh}	43.43 ± 0.371 ^{ef}	30.26 ± 0.597 ^x	9.42 ± 0.207 ^{mn}			
100AC	FD	5.91 ± 0.087 ^{pq}	0.2777 ± 0.006 ^{lm}	73.06 ± 0.712 ^r	1.20 ± 0.046 ^d	17.26 ± 0.277 ⁱ			
	CD50°C	5.36 ± 0.049 ^{nop}	0.2513 ± 0.004 ^o	63.30 ± 1.706 ^o	2.47 ± 0.172 ^b	16.61 ± 0.464 ^c			
	CD60°C	4.54 ± 0.018 ^{lmn}	0.2175 ± 0.003 ^m	67.81 ± 1.394 ^p	3.22 ± 0.145 ^{bc}	19.61 ± 0.678 ^u			
	CD70°C	3.09 ± 0.041 ^{cdefghi}	0.1701 ± 0.002 ^{jk}	72.82 ± 0.553 ^r	3.42 ± 0.043 ^c	20.36 ± 0.330 ^u			
	MVD120 W	1.85 ± 0.064 ^{ab}	0.1220 ± 0.003 ^{ij}	76.53 ± 0.312 ^t	4.43 ± 0.106 ^d	23.03 ± 0.344 ^w			
	MVD240 W	2.25 ± 0.058 ^{abc}	0.1471 ± 0.001 ^{fg}	74.97 ± 0.651 ^s	3.85 ± 0.203 ^{cd}	23.51 ± 0.464 ^w			
	MVD360 W	1.87 ± 0.041 ^{ab}	0.1277 ± 0.002 ^{fg h}	74.12 ± 0.783 ^{rs}	4.14 ± 0.209 ^d	23.01 ± 0.298 ^w			
	CD60°C/MVD120 W	1.72 ± 0.049 ^a	0.1036 ± 0.005 ^{fg h}	71.14 ± 0.561 ^q	5.30 ± 0.041 ^e	21.23 ± 0.055 ^v			
50BP-50BC	FD	7.10 ± 0.097 ^r	0.2205 ± 0.004 ^{fg h}	42.97 ± 0.083 ^e	21.79 ± 0.114 st	5.88 ± 0.050 ^{ef}			
	CD50°C	6.89 ± 0.019 ^r	0.3416 ± 0.000 ^o	40.68 ± 0.345 ^d	21.19 ± 0.316 ^{rs}	4.82 ± 0.116 ^d			
	CD60°C	6.75 ± 0.489 ^{qr}	0.3136 ± 0.000 ⁿ	39.77 ± 0.385 ^d	20.59 ± 0.162 ^{qr}	4.60 ± 0.087 ^{cd}			
	CD70°C	5.71 ± 1.047 ^{op}	0.2682 ± 0.003 ^{kl}	42.76 ± 0.117 ^e	19.93 ± 0.222 ^{pq}	5.65 ± 0.031 ^e			
	MVD120 W	4.43 ± 0.011 ^k	0.2384 ± 0.004 ^{ij}	43.14 ± 0.115 ^{ef}	22.18 ± 0.173 ^{tu}	6.86 ± 0.141 ^{hi}			
	MVD240 W	3.54 ± 0.239 ^{fg hijk}	0.2049 ± 0.003 ^f	42.88 ± 0.176 ^e	22.21 ± 0.094 ^{tu}	9.11 ± 0.165 ^m			
	MVD360 W	3.66 ± 0.249 ^{ghijk}	0.2205 ± 0.004 ^{fg h}	43.07 ± 0.145 ^e	21.50 ± 0.227 st	8.25 ± 0.155 ^l			
	CD60°C/MVD120 W	3.85 ± 0.012 ^{hijk}	0.2223 ± 0.003 ^{gh}	44.43 ± 0.176 ^{fg}	22.69 ± 0.104 ^u	7.99 ± 0.066 ^{kl}			
50BP-50AC	FD	4.20 ± 0.128 ^{ijk}	0.1836 ± 0.004 ^e	50.78 ± 0.149 ^{kl}	18.53 ± 0.088 ^o	7.75 ± 0.128 ^{kl}			
	CD50°C	4.88 ± 0.356 ^{mno}	0.2290 ± 0.005 ^{hi}	47.27 ± 0.326 ^j	15.85 ± 0.048 ^{kl}	8.35 ± 0.058 ^l			
	CD60°C	3.36 ± 0.025 ^{efghij}	0.1678 ± 0.004 ^{de}	50.17 ± 0.428 ^k	16.37 ± 0.062 ^{lm}	7.66 ± 0.100 ^k			
	CD70°C	3.00 ± 0.204 ^{cdefgh}	0.1392 ± 0.004 ^{bc}	51.73 ± 0.081 ^{lmn}	15.61 ± 0.086 ^{ijkl}	8.11 ± 0.114 ^{kl}			
	MVD120 W	2.76 ± 0.055 ^{bcd efg}	0.1823 ± 0.006 ^e	51.18 ± 0.118 ^{klm}	17.26 ± 0.083 ⁿ	11.28 ± 0.040 ^q			
	MVD240 W	2.21 ± 0.064 ^{abc}	0.1278 ± 0.006 ^b	52.43 ± 0.255 ^{mn}	16.09 ± 0.206 ^{kl}	10.16 ± 0.218 ^o			
	MVD360 W	2.19 ± 0.112 ^{abc}	0.1088 ± 0.005 ^a	52.81 ± 0.075 ⁿ	12.90 ± 0.086 ^g	13.22 ± 0.145 ^r			
	CD60°C/MVD120 W	2.75 ± 0.013 ^{bcd efg}	0.1258 ± 0.005 ^b	51.67 ± 0.452 ^{lmn}	15.04 ± 0.293 ^{ij}	9.96 ± 0.242 ^{no}			

W odniesieniu do kompozycji zawierającej wyłoki i kostki z buraka w stosunku 50:50 (50BP-50BC), wilgotności końcowe po zastosowaniu suszenia CD, kształtowały się poziomie tych uzyskanych na drodze liofilizacji dla kostek z buraka (BC) i wynosiły średnio 6,45%. Wzrost temperatury w suszeniu CD pozwolił na obniżenie wilgotności o ok. 20% przy zwiększeniu temperatury z 50 do 70°C. Natomiast zastosowanie suszenia MVD pozwoliło niemal 2-krotnie zmniejszyć wartości średnich wilgotności w stosunku do tych uzyskanych po zastosowaniu suszenia CD. Suszenie łączone i suszenie MVD dało podobne wyniki wilgotności końcowej. w przypadku suszenia sublimacyjnego wartości wilgotności kompozycji 50BP-50BC i kostek z buraka (BC) były podobne. Podsumowując wyniki dotyczące wilgotności kostek z buraka (BC) i 50BP-50BC nie zaobserwowano istotnych różnic statystycznych w odniesieniu do sposobów suszenia. w przypadku wysuszonych kompozycji zaobserwowano wysoki współczynnik korelacji między wilgotnością, a aktywnością wody, który wyniósł 0,94, co jest również charakterystyczne dla suszonych śliwek (Michalska i in., 2016). Biorąc pod uwagę uzyskane wartości aktywności wody zaobserwowano podobny wpływ warunków suszenia jak w przypadku wilgotności, co można wtłumaczyć wysoką wartość współczynnika korelacji między obydwoma parametrami określającymi stan uwilgotnienia materiału.

Wyniki pomiaru barwy określonej na podstawie modelu CIE L^* , a^* , b^* w przypadku wyłoków z buraka BP wartości parametrów L^* , a^* i b^* nie wykazują istotnych zmian statystycznych w odniesieniu do zastosowanych sposobów suszenia. Jedynie wartość parametru a^* liofilizowanych wyłoków z buraka (BP) była niemal 40% większa w stosunku do najniższej wartości a^* , którą uzyskano po suszeniu CD70°C. Dodatkowo, zaobserwowano, że wzrost temperatury i mocy w suszeniu CD i MVD wyłoków z buraka BP powodował nieznaczny spadek wartości parametru L^* i a^* , natomiast w przypadku parametru b^* - jego wzrost. w odniesieniu do kostek z buraka BC zaobserwowano wzrost wartości parametrów opisujących barwę wraz ze wzrostem temperatury suszenia. w przypadku kompozycji 50BP50BC wartości koordynat L^* , a^* i b^* nie wykazały istotnych różnic statystycznych z wyjątkiem parametru a^* , gdzie zaobserwowano spadek wartości wraz ze wzrostem temperatury suszenia CD.

7.3. Wpływ warunków suszenia na wybrane właściwości chemiczne wysuszonego produktu

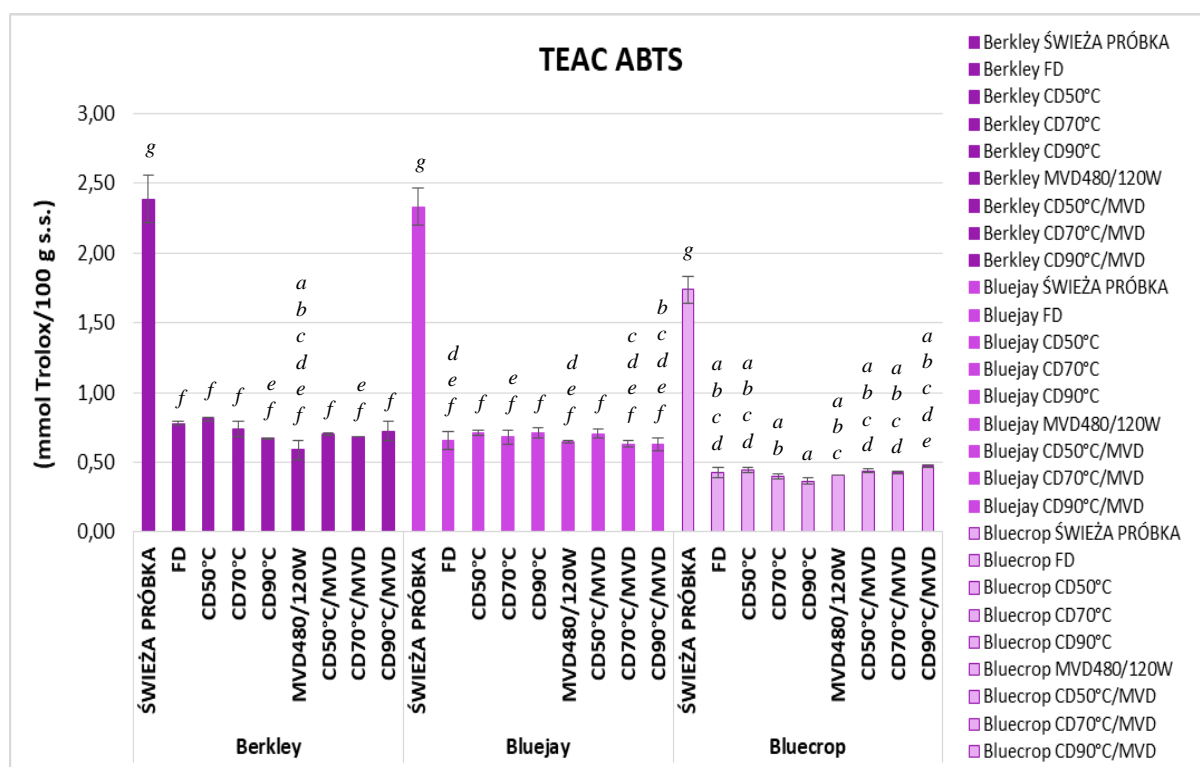
7.3.1. Wytłoki z borówki amerykańskiej

Pojemność przeciwutleniająca – TEAC ABTS

Badania aktywności przeciwutleniającej wytlóków z borówki amerykańskiej (3 odmiany) obejmują wyniki analizy TEAC ABTS przedstawionej na Rys. 21. Najwyższe wartości aktywności przeciwutleniającej osiągnęły świeże wytloki wszystkich trzech odmian (*Berkley*, *Bluejay*, *Bluecrop*), które wyniosły odpowiednio 2,38, 2,33 i 1,74 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹ w przypadku świeżych wytlóków odmiany *Bluejay* wartość aktywności przeciwutleniającej ABTS jest niemal 30% niższa niż dla dwóch pozostałych odmian. Spośród suszonych prób najkorzystniejsze wyniki aktywności przeciwutleniającej uzyskano stosując suszenie konwekcyjne w 50°C (CD50°C) i liofilizację (FD) - w przypadku odmiany *Berkley* (0,81 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹; 0,78 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹), natomiast *Bluejay* (0,71 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹; 0,65 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹) natomiast dla odmiany *Bluecrop* najwyższe wartości uzyskano podczas suszenia konwekcyjnego w 90°C (CD90°C) – 0,47 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹, 50°C (CD50°C) – 0,44 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹ i sublimacyjnego (FD) – 0,43 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Najwyższe średnie wartości aktywności przeciwutleniającej odnotowano dla wytlóków odmiany *Berkley* – 0,90 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹ i dla odmiany *Bluejay* – 0,86 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Średnia wartość ABTS proszków z wytlóków borówki amerykańskiej dla odmiany *Bluecrop* była ponad 35% niższa w stosunku do pozostałych dwóch odmian wytlóków tego gatunku.

Wzrost temperatury z 50 do 90°C w suszeniu konwekcyjnym (CD) wytlóków z borówki amerykańskiej spowodował spadek wartości aktywności przeciwutleniającej o 20% w przypadku odmian *Berkley* i *Bluecrop*. w odniesieniu do wytlóków odmiany *Bluejay* nie zaobserwowano istotnych różnic statystycznych w suszeniu konwekcyjnym (CD). Suszenie mikrofalowo próżniowe (MVD) przyczyniło się do uzyskania najniższych wartości ABTS dla odmiany *Berkley* (0,59 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹), natomiast w przypadku odmian *Bluejay* i *Bluecrop* wartości aktywności przeciwutleniającej były takie same lub zbliżone do wartości ABTS uzyskanej w procesie liofilizacji (FD) – kolejno 0,65 i 0,41 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Zastosowanie suszenia łączonego pozwoliło uzyskać wartości aktywności przeciwutleniającej na podobnym poziomie w każdej odmianie bez istotnych wahań między wariantami parametrów suszenia. Oprócz tego zaobserwowano, że temperatura podsuszania

konwekcyjnego podczas suszenia łączonego (CD/MVD) nie miała istotnego wpływu na końcową wartość aktywności przeciwutleniającej, a moc dosuszania mikrofalowego pozwoliła uzyskać wartości aktywności przeciwutleniającej na podobnym poziomie jak podczas konwekcji (CD). Wobec tego, należałoby skrócić czas ekspozycji na owiewanie gorącym powietrzem podczas suszenia konwekcyjnego (CD) wyłoków z borówki amerykańskiej, co mogłoby wpłynąć na korzystniejsze wyniki ABTS. Wyniki aktywności przeciwutleniającej wskazują, że suszenie mikrofalowo-próżniowe (MVD480/120 W) nie jest rekomendowanym sposobem do uzyskania proszków o wysokiej zdolności zmiatania kationorodnika ABTS⁺⁺.



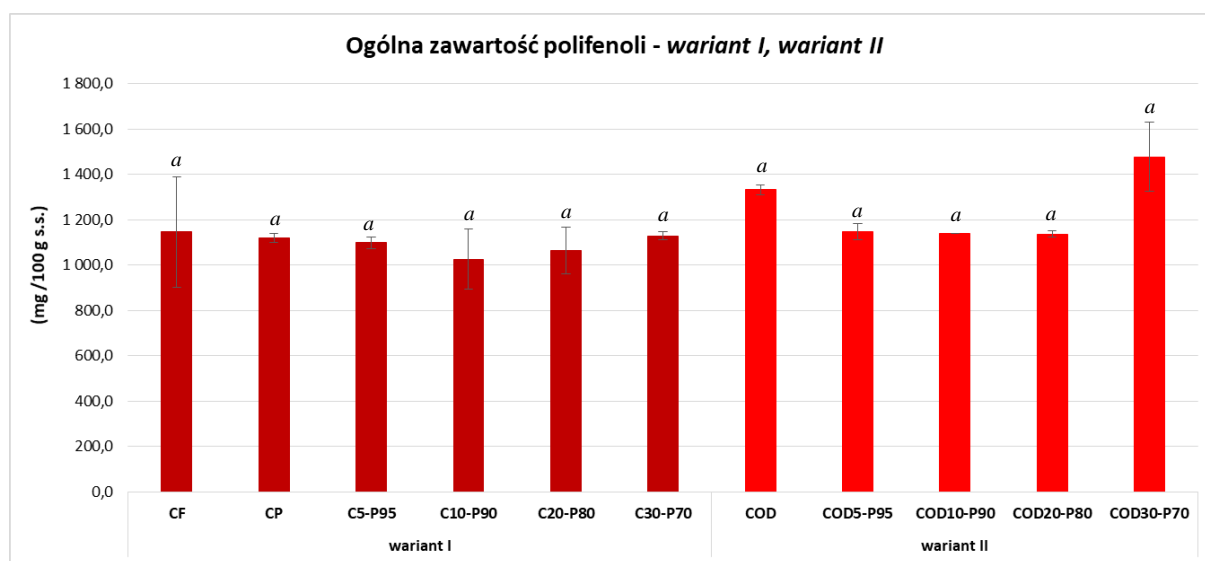
Rysunek 21. Aktywność przeciwutleniająca trzech odmian wyłoków z borówki amerykańskiej (Berkley, Bluejay, Bluecrop).

7.3.2. Wytłoki z żurawiny

Ogólna zawartość polifenoli

Na Rys. 22 przedstawiono ogólną zawartość polifenoli (TPC) w kompozycjach na bazie wyłoków z żurawiny z dodatkiem owoców żurawiny (*variant I*) i z dodatkiem owoców żurawiny odwadnianych osmotycznie w soku z aronii (*variant II*). Ogólna zawartość polifenoli dla tych prób wynosiła od 1025,5 mg·100 g s.s.⁻¹ dla kompozycji C10-P90, do 1475,7 mg·100 g s.s.⁻¹ dla kompozycji wyłoków z 30%-owym dodatkiem odwadnianych owoców żurawiny (COD30-P70). Ogólna zawartość polifenoli dla wyłoków z żurawiny

wynosiła 1145 mg/100 g s.s., natomiast w badaniach kanadyjskich naukowców zawierała się w zakresie od 1354,5 do 1516,7 mg·100 g s.s.⁻¹(Ross i in., 2020). w przypadku owoców żurawiny badania Szajdek i Borowskiej (2004) wykazano, że ogólna zawartość polifenoli waha się od 120 do 315 mg·100 g s.s.⁻¹, w badaniach Oszmiańskiego i in. (Oszmiański i in. 2016) uzyskano zawartość polifenoli w żurawinie na poziomie od 9910,8 do 13744,6 mg·100 g s.s.⁻¹. Rozbieżności w TPC w owocach, a także wyciekach z żurawiny wyjaśniają badania przeprowadzone przez Teleszko, która na podstawie analiz zawartości polifenoli wykazała, że wartość ta zależy od odmiany owoców żurawiny (Teleszko, 2011).



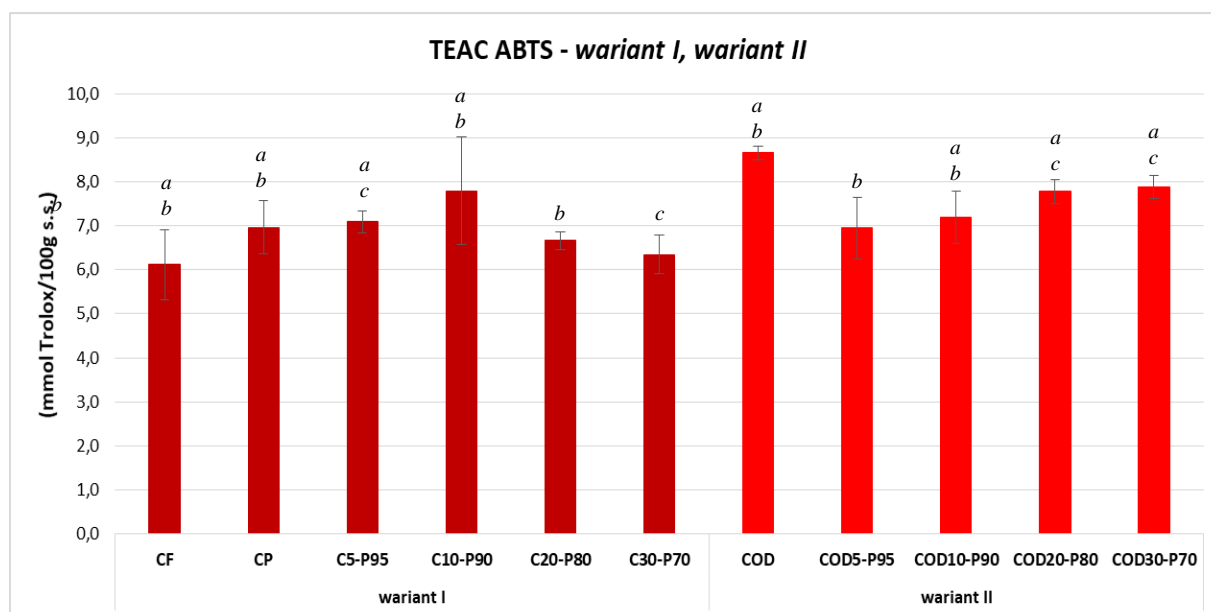
Rysunek 22. Ogólna zawartość polifenoli dla kompozycji na bazie wycieków z żurawiny z dodatkiem żurawiny i żurawiny odwadnianej osmotycznie w soku z aronii.

Wykonana analiza TPC wykazała, że w przypadku prób z wariantu I i wariantu II wzrost udziału dodatku funkcjonalnego od 10 do 30% powoduje wzrost zawartości polifenoli (TPC), co można tłumaczyć wprowadzeniem substancji natywnych pochodzących z owoców żurawiny, a także żurawiny wzbogaconej substancjami zawartymi w soku z aronii. Dla suszu z wycieków żurawinowych (CP) i owoców żurawiny (CF) zawartość polifenoli jest na zbliżonym poziomie z uwagi na wysoki poziom antocyjanów zawartych w skórce żurawiny. Analizując zawartość polifenoli dla wariantu II można zaobserwować wzrost TPC dla owoców żurawiny (COD) o 15% w stosunku do owoców nie poddanych obróbce odwadniania osmotycznego (CF). Dodatkowo, w przypadku obu wariantów zaobserwowano, że dopiero 30% - owy dodatek owoców żurawiny (C30-P70, COD30-P70) pozwala zwiększyć zawartość polifenoli w porównaniu do prób z 5,10 i 20% - owym dodatkiem owoców żurawiny. w wariacie II kompozycja COD30-P70 posiadała TPC o 30% wyższą niż w przypadku tej samej mieszanki w wariacie I (C30-P70), zatem odwadnianie osmotyczne dodatku

funkcjonalnego, w postaci owoców żurawiny, w soku z aronii pozwoliło podwyższyć potencjał bioaktywny całej kompozycji. Średnia wartość zawartości polifenoli w *wariancie II* jest o 15% większa niż w przypadku kompozycji w *wariancie I*.

Pojemność przeciwutleniająca – TEAC ABTS

Pojemność przeciwutleniająca wytlóków z żurawiny i kompozycji na ich bazie została wyznaczona na podstawie analizy TEAC ABTS, której wyniki przedstawiono na Rys. 23.



Rysunek 23. Aktywność przeciwutleniająca TEAC ABTS dla kompozycji na bazie wytlóków z żurawiny z dodatkiem żurawiny i żurawiny odwadnianej osmotycznie w soku z aronii.

Kompozycje na bazie wytlóków i owoców z żurawiny charakteryzowały się aktywnością przeciwutleniającą w zakresie od 6,12 do 8,65 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Podobne wyniki uzyskano w badaniach dotyczących suszonych wytlóków z żurawiny bez dodatków funkcjonalnych, przy czym wartość aktywności przeciwutleniającej wahała się między 8,99 a 9,61 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹, gdzie zastosowano liofilizację i suszenie konwekcyjne w temperaturach 50, 60 i 70°C (Ross i in. 2020). Wysuszone wytloki z żurawiny (CP) odznaczały się wyższą o 14% aktywnością przeciwutleniającą niż same owoce z żurawiny (CF). w badanych kompozycjach wzrost udziału procentowego owoców żurawiny powodował spadek aktywności przeciwutleniającej. Wyjątkiem jest kompozycja z 10% - owym dodatkiem owoców żurawiny, gdzie zaobserwowano wzrost pojemności przeciwutleniającej ABTS w stosunku do pozostałych kompozycji, natomiast jest to wynik obarczony błędem standardowym ponad 1%.

W przypadku kompozycji z dodatkiem odwadnianych osmotycznie owoców żurawiny (COD) w soku z aronii obserwuje się odwrotną tendencję, ponieważ wzrost udziału dodatku COD z 5 do 30% spowodował wzrost aktywności przeciutleniającej o ok. 15%. Aktywność przeciwutleniająca ABTS samych owoców żurawiny bez odwadniania osmotycznego jest o 40% niższa niż w przypadku owoców, które zostały poddane tej obróbce. Kompozycje z dodatkami owoców żurawiny na poziomie 20 i 30% do wytlóków z żurawiny charakteryzowały się nieznaczną różnicą wartości aktywności przeciwutleniającej. Podobna sytuacja występowała również w przypadku kompozycji z dodatkiem owoców odwadnianych osmotycznie.

7.3.3. Wytłoki z buraka ćwikłowego

Identyfikacja polifenoli UPLC-PDA-FL

Analiza UPLC-PDA-FL pozwoliła zidentyfikować ilościowo kilka grup polifenoli w badanych próbkach – 100BP, 100BC, 100AC, 50BP-50BC i 50BP-50AC, otrzymanych przy użyciu wybranych sposobów suszenia, co przedstawia Tabela X. Zawartość polifenoli ogółem w analizowanych proszkach wahała się między 219,4 a 4487,7 mg·100 g⁻¹ s.s., przy czym najniższą wartość odnotowano dla kompozycji 50BP-50AC otrzymanej na drodze suszenia mikrofalowo-próżniowego przy mocy 360 W, a najwyższą dla próbki 100BC uzyskanej w wyniku suszenia konwekcyjnego w 70°C. w przypadku prób 100BP, 100BC, 50BP-50BC i 50BP-50AC zidentyfikowano takie grupy polifenoli, jak: pochodne związki betaksantyny oraz betacyjaniny, do których zalicza się prebetaninę, betaninę, izoprebetaninę betanidynę i izobetaninę. Natomiast dla kostek jabłek (100AC) zidentyfikowano dihydrochalkony (florydżyna, floretyna), a także kwasy fenolowe, wśród których znajduje się kwas chlorogenowy i kwas p-kumarowy, co przedstawiono w Tabeli 6.

Dla kompozycji 100BP, 100BC, 50BP-50BC i 50BP-50AC pochodne betaksantyny (PB) wahały się w zakresie od 102,6 (50BP-50AC, CD60°C/MVD120W) do 428,0 mg·100 g⁻¹ s.s. (100BP, CD60°C). Zaobserwowano, że w każdej z tych kompozycji średnie zawartości pochodnych betaksantyny (PB) po suszeniu CD i MVD były wyższe niż zawartość PB dla tych samych kompozycji otrzymanych w rezultacie liofilizacji (FD). z tego powodu niezwykle istotny jest dobór parametrów suszenia sublimacyjnego, a także struktura suszonego materiału z uwagi na wpływ tych czynników na zmiany koloru próbki w trakcie procesu, a bezpośrednio na końcową zawartość substancji bioaktywnych i zdolność antyoksydacyjną otrzymanego suszu (Nowak i Jakubczyk, 2020; Janiszewska-Turak i in.,

2021). w przypadku kostek z buraka (100BC) najwyższą zawartość pochodnych betaksantyny spośród zastosowanych sposobów suszenia uzyskano w wyniku suszenia łączonego (CD60°C/MVD120W), co zaobserwowano również w przypadku suszonych plastrów buraka (Nistor i in. 2017). Dla 100BC, 50BP-50BC i 50BP-50AC odnotowano, że zwiększenie temperatury suszenia konwekcyjnego z 60 do 70°C powoduje niemal 2-krotny wzrost zawartości pochodnych betaksantyny. w przypadku kompozycji 100BP i 50BP-50BC wzrost mocy magnetronów w suszeniu mikrofalowo-próżniowym (MVD) spowodował spadek zawartości PB. w przypadku pozostałych kompozycji nie zaobserwowano wyraźnej zależności pomiędzy mocą, a zawartością PB. Poza tym dostrzeżono, że wprowadzenie kostek jabłek (AC) do wytlóków (BP) obniża zawartość pochodnych betaksantyny o 30% w stosunku do próbki z dodatkiem kostek buraka, co można tłumaczyć tym, że kostki jabłka nie zawierają tych związków bioaktywnych, stąd niższa zawartość PB w kompozycji 50BP-50AC (Bureau i in., 2012).

Na podstawie analizy UPLC-PDA-FL w kompozycjach 100BP, 100BC, 50BP-50BC i 50BP-50AC zidentyfikowano następujące betacyjaniny: prebetaninę, betaninę, izoprebetaninę, betanidynę oraz izobetaninę, która występowała tylko w próbkach 100BC i 50BP-50BC. Betacyjaniny ogółem w badanych kompozycjach mieściły się w zakresie od 219,4 (50BP-50AC, MVD360 W) do 4055,2 mg·100 g⁻¹ s.s. (100BC, CD70°C). Zaobserwowano, że dla wytlóków z buraka (100BP) otrzymanych w rezultacie suszenia konwekcyjnego w 60°C (CD60°C) zawartość prebetaniny była najwyższa spośród pozostałych sposobów suszenia i wynosiła 631,7 mg·100 g⁻¹ s.s., natomiast najniższą zawartość prebetaniny dla 100BP uzyskano po suszeniu łączonym (CD60°C/MVD120 W) i była ona niemal 2-krotnie niższa niż po CD60°C. Zatem wprowadzenie energii mikrofalowej do procesu suszenia łączonego (CD/MVD) przyczyniło się do znacznej degradacji prebetaniny w stosunku do suszenia CD, co zaobserwowano również dla kostek buraka (100BC) i kompozycji 50BP-50BC oraz 50BP-50AC. w przypadku 100BP i 100BC zauważono, że średnie zawartości prebetaniny dla suszenia konwekcyjnego (CD50°C, CD60°C, CD70°C) były niemal o połowę wyższe niż średnie po suszeniu mikrofalowo-próżniowym (MVD120 W, MVD240 W, MVD360 W). z kolei, dla kompozycji 50BP-50BC i 50BP-50AC zaobserwowano odwrotną tendencję, gdyż średnie zawartości prebetaniny dla suszenia konwekcyjnego były niższe o ponad 10% niż dla suszenia mikrofalowo-próżniowego. Wyniki tej analizy wskazują, że w kompozycji 50BP-50BC najwyższą zawartość prebetaniny uzyskano po liofilizacji (1233,9 mg·100 g⁻¹ s.s.), przy czym w kompozycji 50BP-50AC uzyskanej po suszeniu sublimacyjnym (FD)

wprowadzenie kostek jabłek do wycieków z buraka spowodowało niemal 10-krotne obniżenie zawartości prebetaniny w stosunku do kompozycji z kostkami buraka (50BP-50BC). Zawartość prebetaniny w kompozycji 50BP-50AC była najwyższa po suszeniu mikrofalowo-próżniowym przy mocy 240 W (MVD240 W) i wynosiła 344,1 mg·100 g⁻¹ s.s., co jednocześnie dało wynik o 40% wyższy niż w przypadku tej próby otrzymanej metodą liofilizacyjną. Zaobserwano również, że w kompozycji wycieków z buraka z dodatkiem kostek jabłek (50BP-50AC), zawartość prebetaniny, a także betaniny, izobetaniny i betanidyny, po suszeniu MVD360 W i CD60°C/MVD120 W była na najniższym poziomie w porównaniu do pozostałych kompozycji.

Zawartość betaniny w kompozycjach 100BP, 100BC, 50BP50BC i 50BP50AC zawierała się w zakresie od 25,0 (50BP-50AC, MVD360 W) do 761,4 mg·100 g⁻¹ s.s. (100BC, CD70°C), zawartość izoprebetaniny wahała się od 16,4 (50BP-50AC, CD60°C/MVD120 W) do 1140,2 mg·100 g⁻¹ s.s. (100BC, MVD360 W), natomiast zawartość betanidyny obejmowała zakres od 5,6 (50BP-50AC, CD60°C/MVD120 W) do 458,9 mg·100 g⁻¹ s.s. (100BC, MVD360 W). w kompozycji 100BP, a także 50BP-50AC odnotowano najniższe zawartości betaniny, ale też izoprebetaniny i betanidyny spośród pozostałych kompozycji. Natomiast betanina, izoprebetanina i betanidyna, znajdowały się w największych ilościach w kostkach buraka (100BC) oraz w kompozycji wycieków z buraka z 50%-owym udziałem kostek buraka (50BP-50BC). Miąższ buraka w stosunku do wycieków z buraka zawierał znacznie więcej substancji aktywnych w postaci betaniny, izoprebetaniny i betanidyny, co w porównaniu np. do wycieków ze śliwki czy żurawiny jest odwrotną tendencją, ponieważ wycieki owocowe mają zbliżoną lub nawet większą zawartość poszczególnych polifenoli niż sam surowiec czy sok (Oszmiański i in., 2016; Michalska i in., 2019). w próbach po suszeniu konwekcyjnym lub mikrofalowo-próżniowym, gdzie temperatury procesu przewyższały 60°C w CD i 80°C w MVD360 W, zaobserwowano wyższą zawartość betaniny, a także izoprebetaniny i betanidyny, w kompozycjach 100BP, 100BC i 50BP-50BC w stosunku do procesów CD50°C, MVD120 W i MVD240 W. Natomiast w odniesieniu do izobetaniny, która obecna jest jedynie w kompozycji 100BC i 50BP-50BC, jej zawartość wahała się od 5,6 dla kompozycji 50BP50BC (po suszeniu MVD360 W) do 298,4 mg·100 g⁻¹ s.s. dla kompozycji 100BC (po suszeniu CD60°C/MVD120 W). Podczas tłoczenia soków z buraka, większość substancji bioaktywnych przeszła do soku w przeciwieństwie do owoców jagodowych, w przypadku których substancje bioaktywne w większości pozostają w matrycy wycieków (Oszmiański i in., 2016; Michalska, Wojdyło, Lech i in., 2017; Michalska i in., 2019).

Tabela 6. Zawartość związków polifenolowych ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ s.s.) suszy z wyłoków z buraka z dodatkami funkcjonalnymi w postaci kostek buraka i jabłka (100BP, 100BC, 50BP-50BC, 50BP-50AC), otrzymanych wybranymi sposobami suszenia.

Kompozycja	Sposób suszenia	POCHODNE BETAKSANTYNY	BETACYJANINY					suma betacyjanin	SUMA POLIFENOLI
			prebetanina	betanina	izoprebetanina	betanidyna	izobetanina		
100BP	FD	353,94 ± 0,284 ^f	626,14 ± 0,133 ⁿ	221,65 ± 0,403 ⁿ	141,16 ± 0,620 ^l	45,87 ± 0,272 ^f	(-)	1034,82	1388,76 ± 0,850 ^e
	CD50°C	355,82 ± 0,613 ^f	553,55 ± 0,444 ^m	191,09 ± 0,087 ^m	116,17 ± 0,978 ^l	39,46 ± 0,339 ^{hi}	(-)	900,27	1256,08 ± 1,714 ^p
	CD60°C	428,00 ± 0,119 ^b	631,71 ± 0,093 ^o	222,01 ± 0,395 ^o	134,31 ± 0,726 ^l	41,96 ± 1,272 ^l	(-)	1029,99	1457,98 ± 0,887 ^f
	CD70°C	374,12 ± 0,663 ^z	467,59 ± 0,332 ^l	167,35 ± 0,541 ⁱ	102,32 ± 0,531 ^f	35,29 ± 0,613 ^z	(-)	772,55	1146,67 ± 0,460 ⁿ
	MVD120 W	382,40 ± 0,480 ^f	512,24 ± 0,179 ^k	187,76 ± 0,364 ^l	112,96 ± 0,735 ^h	36,29 ± 0,584 ^h	(-)	849,26	1231,66 ± 0,555 ^p
	MVD240 W	381,72 ± 0,178 ^z	482,42 ± 0,574 ^l	170,96 ± 0,826 ^f	108,33 ± 0,787 ^f	35,21 ± 0,730 ^z	(-)	796,92	1178,64 ± 0,944 ^o
	MVD360 W	321,49 ± 0,518 ^z	522,68 ± 0,768 ^l	182,87 ± 0,491 ^k	118,68 ± 0,083 ⁱ	37,84 ± 1,117 ^z	(-)	862,06	1183,55 ± 1,546 ^o
	CD60°C/MVD120 W	265,82 ± 0,174 ^o	377,07 ± 0,832 ^h	137,35 ± 0,381 ^h	83,92 ± 0,531 ^e	29,25 ± 0,900 ^f	(-)	627,59	893,41 ± 0,603 ^k
100BC	FD	168,40 ± 0,537 ^z	841,42 ± 0,658 ^f	263,46 ± 0,339 ^p	886,91 ± 0,262 ^z	276,52 ± 0,533 ^f	375,66 ± 0,781 ^m	2268,31	2812,36 ± 0,723 ^c
	CD50°C	156,38 ± 0,772 ^f	2347,18 ± 0,844 ^d	710,88 ± 0,759 ^b	345,01 ± 0,539 ^f	91,26 ± 0,825 ⁿ	13,97 ± 0,749 ^d	3494,33	3664,68 ± 0,397 ^f
	CD60°C	123,87 ± 0,114 ^c	1408,31 ± 0,420 ^f	412,01 ± 1,264 ^f	325,84 ± 0,713 ^p	92,78 ± 0,806 ^f	54,68 ± 0,370 ^h	2238,94	2417,48 ± 0,350 ^v
	CD70°C	260,15 ± 0,687 ^m	2468,77 ± 0,385 ^f	761,35 ± 0,684 ^c	657,01 ± 0,405 ⁿ	168,11 ± 0,644 ^f	172,32 ± 0,822 ^k	4055,24	4487,71 ± 0,559 ^e
	MVD120 W	176,44 ± 0,036 ^h	888,59 ± 0,729 ^w	277,05 ± 1,042 ^e	1007,19 ± 0,772 ^e	340,69 ± 0,988 ^w	29,76 ± 0,099 ^f	2513,51	2719,71 ± 0,498 ^b
	MVD240 W	125,80 ± 0,524 ^d	847,17 ± 0,424 ^f	310,90 ± 0,778 ^h	969,30 ± 0,781 ^v	397,93 ± 0,390 ^o	25,34 ± 0,665 ^z	2525,29	2676,43 ± 0,564 ^t
	MVD360 W	181,38 ± 0,273 ^j	1126,67 ± 0,131 ^o	430,10 ± 0,448 ^o	1140,17 ± 0,482 ^o	458,94 ± 0,489 ^z	11,53 ± 0,616 ^z	3155,88	3348,79 ± 0,235 ^t
	CD60°C/MVD120 W	277,53 ± 0,220 ^p	966,12 ± 0,556 ^f	296,37 ± 0,300 ^f	856,35 ± 0,758 ^w	248,29 ± 0,512 ^z	298,42 ± 0,731 ^l	2367,14	2943,08 ± 0,485 ^d
50BP-50BC	FD	366,22 ± 0,168 ^w	1233,88 ± 0,218 ^b	411,79 ± 0,189 ^z	151,36 ± 0,818 ^m	59,09 ± 0,655 ^k	10,89 ± 0,357 ^c	1856,13	2233,25 ± 0,455 ^c
	CD50°C	240,95 ± 0,280 ^j	714,65 ± 0,967 ^p	236,07 ± 0,703 ^o	136,89 ± 0,473 ^k	44,08 ± 0,670 ^l	3,53 ± 0,963 ^o	1131,7	1376,18 ± 7,115 ^e
	CD60°C	178,07 ± 0,346 ^l	854,78 ± 0,966 ^h	349,20 ± 0,512 ^l	202,90 ± 0,998 ⁿ	76,70 ± 0,460 ^l	4,31 ± 0,236 ^o	1483,58	1665,97 ± 0,355 ^f
	CD70°C	380,48 ± 0,217 ⁿ	844,46 ± 1,246 ^f	288,17 ± 0,962 ^o	263,10 ± 0,949 ^p	81,32 ± 0,563 ^m	7,62 ± 0,766 ^o	1477,05	1865,15 ± 1,313 ^f
	MVD120 W	397,55 ± 0,511 ^o	932,27 ± 0,752 ^o	309,12 ± 0,730 ^o	406,42 ± 0,538 ^e	116,61 ± 0,787 ^o	65,09 ± 21,699 ^j	1764,42	2227,06 ± 0,302 ^x
	MVD240 W	359,17 ± 0,556 ^h	953,41 ± 0,674 ^o	319,43 ± 0,535 ^w	544,25 ± 0,489 ^f	170,27 ± 0,549 ^z	153,81 ± 0,768 ^j	1987,36	2500,34 ± 0,464 ^t
	MVD360 W	250,23 ± 0,410 ^m	798,23 ± 0,665 ^z	325,87 ± 1,155 ^z	376,06 ± 0,858 ^f	148,34 ± 0,680 ^p	5,63 ± 0,635 ^o	1648,5	1904,36 ± 0,787 ^m
	CD60°C/MVD120 W	330,64 ± 0,267 ^z	726,36 ± 0,637 ^o	302,04 ± 0,733 ^f	407,94 ± 0,678 ^f	157,86 ± 0,917 ^o	10,61 ± 0,489 ^c	1594,2	1935,45 ± 0,561 ^w
50BP-50AC	FD	122,37 ± 0,489 ^c	125,15 ± 0,128 ^f	49,09 ± 0,342 ^b	29,13 ± 0,726 ^b	11,34 ± 0,861 ^c	(-)	214,7	337,07 ± 0,292 ^b
	CD50°C	427,46 ± 0,306 ^b	294,56 ± 0,400 ^f	112,83 ± 0,449 ^f	63,87 ± 0,179 ^d	22,59 ± 0,395 ^e	(-)	493,84	921,30 ± 1,087 ^l
	CD60°C	142,26 ± 0,310 ^o	123,80 ± 0,610 ^f	51,92 ± 0,102 ^e	27,27 ± 1,208 ^b	9,63 ± 0,215 ^h	(-)	212,62	354,88 ± 0,651 ^c
	CD70°C	204,11 ± 0,674 ^k	156,85 ± 0,540 ^d	64,25 ± 0,193 ^f	35,04 ± 0,492 ^c	12,79 ± 0,337 ^o	(-)	268,92	473,04 ± 0,117 ^d
	MVD120 W	297,71 ± 0,601 ^z	241,72 ± 0,676 ^f	95,01 ± 0,745 ^f	63,11 ± 0,681 ^d	22,42 ± 0,716 ^o	(-)	422,26	719,97 ± 1,140 ⁱ
	MVD240 W	373,52 ± 0,270 ^z	344,13 ± 1,038 ^z	134,61 ± 0,491 ^f	85,90 ± 0,499 ^z	29,25 ± 0,210 ^f	(-)	593,89	967,41 ± 0,420 ^m
	MVD360 W	105,05 ± 0,046 ^b	65,55 ± 0,929 ^o	24,96 ± 0,650 ^o	17,61 ± 0,869 ^o	6,23 ± 0,829 ^o	(-)	114,35	219,40 ± 0,052 ^e
	CD60°C/MVD120 W	102,61 ± 0,956 ^o	68,86 ± 1,040 ^b	27,60 ± 0,588 ^z	16,35 ± 1,158 ^o	5,60 ± 0,989 ^o	(-)	118,41	221,02 ± 0,260 ^e

W kostkach jabłek (100AC) zidentyfikowano dihydrochalkony, których zawartość wahała się od 39,3 (CD60°C/MVD120 W) do 105,1 mg·100 g⁻¹ s.s. (MVD240 W), a także kwasy fenolowe, których ogólna zawartość zawierała się między 319,0 (CD60°C/MVD120 W), a 769,6 mg·100 g⁻¹ s.s. (MVD240 W), co przedstawia Tabela 6. Kwasy fenolowe zidentyfikowano również w badaniach dotyczących suszenia kostek jabłek i wyłoków z jabłek (Heras-Ramírez i in., 2012; Chong i in., 2011).

W grupie dihydrochalkonów zidentyfikowano florydzyne, której zawartość w kostkach jabłka (100AC) wahała się między 8,6 (FD), a 34,7 mg·100 g⁻¹ s.s. (MVD240 W) i floretynę, której zawartość mieściła się w zakresie od 22,42 (CD60°C/MVD120 W) do 76,14 mg·100 g⁻¹ s.s. (CD50°C). Zaobserwowano, że wzrost temperatury suszenia konwekcyjnego (CD) przyczynił się do degradacji zarówno florydzy, jak i floretyny. Suszenie MVD pozwoliło uzyskać zbliżone zawartości florydzy w kostkach jabłka niezależnie od zastosowanej mocy magnetronów. Warto również podkreślić, że rezultacie suszenia mikrofalowo-próżniowego (MVD) uzyskano o ok. 30% więcej florydzy niż w wyniku suszenia konwekcyjnego (CD), natomiast w przypadku floretyny zauważono, że suszenie mikrofalowo-próżniowe przyczyniło się do uzyskania niższej średniej zawartości, o 10%, niż w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym. Poziom florydzy próbkach liofilizowanych był stosunkowo niski i wynosił 8,6 mg·100 g⁻¹ s.s., co w porównaniu do próbek uzyskanych pozostałymi sposobami suszenia, jest wartością o 2-3 razy niższą. Natomiast w przypadku floretyny, liofilizowane kostki jabłka cechowały się zawartością tego związku na poziomie 52,9 mg·100 g⁻¹ s.s., co jest wartością zbliżoną do tej, którą uzyskano po suszeniu konwekcyjnym (CD60°C) kostek jabłka (100AC).

Analiza UPLC-PDA-FL pozwoliła na zidentyfikowanie kwasów fenolowych w kostkach jabłka (100AC) tj. kwas chlorogenowy, którego zawartość mieściła się w zakresie od 203,1 (CD60°C/MVD120 W) do 491,1 mg·100 g⁻¹ s.s. (MVD240 W), oraz kwas p-kumarowy, którego zawartość w kostkach jabłka wahała się pomiędzy 76,6, a 172,6 mg·100 g⁻¹ s.s., przy czym najniższa i najwyższa zawartość kwasu p-kumarowego została uzyskana po tych samych procesach suszenia, jak w przypadku kwasu chlorogenowego. Zaobserwowano, że wzrost temperatury w suszeniu konwekcyjnym (CD) spowodował degradację kwasu chlorogenowego i p-kumarowego o ok. 10%. Dodatkowo suszenie konwekcyjne, jak i mikrofalowo-próżniowe kostek jabłka (100AC) pozwoliło uzyskać wyższą zawartość kwasów fenolowych w porównaniu do liofilizowanych (FD) próbek 100AC. W przypadku kostek jabłka (100AC) suszonych w sposób łączony (CD60°C/MVD120 W) zawartość kwasów fenolowych była

2-krotnie niższa niż w przypadku kostek jabłek otrzymanych w rezultacie suszenia konwekcyjnego (CD), mikrofalowo-próżniowego (MVD), a nawet sublimacyjnego (FD).

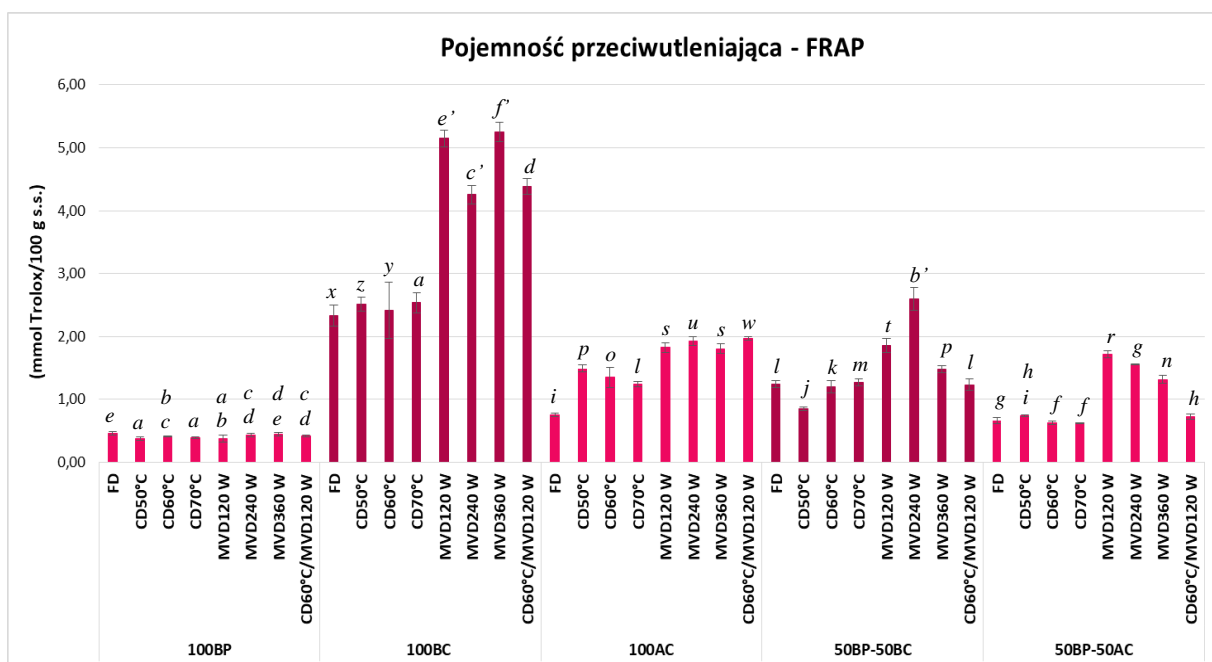
Tabela 7. Zawartość związków polifenolowych (mg·100 g⁻¹ s.s.) w kostkach jabłka uzyskanych wybranymi sposobami suszenia.

Kompozycja	Sposób suszenia	DIHYDROCHALKONY			KWASY FENOLOWE			SUMA POLIFENOLI
		florydzyzna	floretyna	suma	kw. chlorogenowy	kw. p-kumarowy	suma	
	FD	8,60 ± 0,007 ^b	52,86 ± 0,021 ^a	61,46	390,19 ± 0,004 ^b	141,39 ± 0,007 ^a	531,57	593,04 ± 0,766^c
	CD50°C	26,01 ± 0,000 ^d	76,14 ± 0,086 ^s	102,14	472,23 ± 0,685 ^s	158,12 ± 0,402 ^a	630,35	732,49 ± 1,066ⁱ
	CD60°C	20,06 ± 0,005 ^c	51,92 ± 0,034 ^a	71,98	427,61 ± 0,451 ^d	143,43 ± 0,799 ^a	571,04	643,02 ± 0,646^f
100AC	CD70°C	16,73 ± 0,004 ^a	61,50 ± 0,006 ^e	78,23	422,05 ± 0,010 ^c	146,65 ± 932,889 ^a	568,7	646,93 ± 0,658^g
	MVD120 W	29,71 ± 0,001 ^f	46,61 ± 0,817 ^e	76,33	441,33 ± 0,069 ^f	152,06 ± 0,025 ^a	593,39	669,72 ± 0,440^{gh}
	MVD240 W	34,60 ± 0,714 ^g	70,45 ± 0,847 ^f	105,05	491,96 ± 0,015 ^h	172,60 ± 0,005 ^a	664,56	769,62 ± 4,525^j
	MVD360 W	27,95 ± 0,075 ^e	58,86 ± 0,283 ^d	86,81	435,02 ± 0,002 ^e	157,09 ± 0,031 ^a	592,1	678,91 ± 0,147^h
	CD60°C/MVD120	16,90 ± 0,645 ^a	22,42 ± 0,115 ^b	39,32	203,12 ± 0,006 ^a	76,58 ± 0,021 ^a	279,7	319,02 ± 0,173^b

Pojemność przeciwutleniająca – FRAP

Test pojemności przeciwutleniającej FRAP wykonano dla wycieków z buraka (100BP), kostek buraka (100BC), kostek jabłka (100AC), kompozycji składających się z wycieków z buraka z kostkami buraka (50BP-50BC) i wycieków z buraka z kostkami jabłka (50BP-50AC), a wyniki przedstawiono na Rys. 24. Najwyższą pojemność przeciwutleniającą wykazały kostki z buraka 100BC otrzymane po suszeniu mikrofalowo-próżniowym w 120 w (MVD120 W) oraz 360 w (MVD360 W), osiągając wartość ponad 5,00 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹, przy czym pojemność przeciwutleniająca FRAP dla wycieków z buraka (100BP) po zastosowanych procesach suszenia wahała się w zakresie od 0,377 do 0,463 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Suszenie kostek buraka (100BC) przy 240 w sposobem mikrofalowo-próżniowym i łączonym (CD60°C/MVD240 W) doprowadziło do redukcji pojemności przeciwutleniającej, kolejno do wartości 4,26 i 4,38 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹, podczas gdy pozostałe metody doprowadziły do spadku aktywności przeciwutleniającej do wartości 3,00 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Natomiast w innych badaniach dotyczących suszenia kostek z buraka, największą pojemność przeciwutleniającą odnotowano dla kostek suszonych w sposób łączony – podsuszanie konwekcyjne w 60°C i dosuszanie mikrofalowo-próżniowe w mocy 240, 360 i 480 W – przy mocy dosuszania 240 i 480 W (Figiel, 2010). Dodatkowo zaobserwowano, że zastosowanie różnych temperatur podczas procesu suszenia konwekcyjnego (CD50°C, CD60°C, CD70°C) nie doprowadziło do istotnych różnic wartości pojemności przeciwutleniającej. Uzyskanie niższych wartości pojemności przeciwutleniającej FRAP w próbkach poddanych suszeniu konwekcyjnemu potwierdza fakt, że betalainy są wrażliwe na działanie wysokich temperatur (Nistor i in., 2017). Kostki jabłka (100AC)

w porównaniu do kostek buraka (100BC) odznaczały się znacznie niższą pojemnością przeciwutleniającą, natomiast różnice w wartości FRAP między próbkami otrzymanymi za pomocą wybranych sposobów suszenia nie były tak wyraźne jak w przypadku 100BC, przy czym najniższe wartości uzyskano dla próbki po procesie liofilizacji (FD) i suszenia konwekcyjnego w 70°C (CD70°C). Pojemność przeciwutleniająca dla próbki 50BP-50AC osiągnęła najwyższe wartości w przypadku suszenia MVD120 w przyjmując wartość na poziomie 1,72 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹, co jest gorszym wynikiem w porównaniu do próbki 50BP-50BC, gdzie po zastosowaniu tej samej metody suszenia osiągnięto wartość 1,86 mmol Trolox/100 g s.s.. w przypadku kompozycji 50BP-50BC aktywność przeciwutleniająca FRAP osiągnęła najwyższą wartość po suszeniu MVD240 W wynoszącą 2,59 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Na podstawie uzyskanych wyników aktywności przeciwutleniającej FRAP można stwierdzić, że możliwe jest fortyfikowanie wycieków buraczanych i zagospodarowanie nadprodukcji korzeni buraków w celu osiągnięcia nowego prozdrowotnego produktu spożywczego przy jednoczesnej redukcji ilości powstających odpadów.



Rysunek 24. Pojemność przeciwutleniająca FRAP dla kompozycji wycieków z buraka wzbogacanych kostkami buraka i jabłka.

8. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski odnoszące się odpowiednio do hipotez H1, H2, H3, H4 i H5:

1. Wysoka wartość temperatury (70°C) oraz długi czas procesu przy niskiej temperaturze (50°C) w suszeniu konwekcyjnym, a także duża moc magnetronów podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego (480 W) powoduje obniżenie aktywności przeciwutleniającej (TEAC ABTS) wycieków z owoców badanych odmian borówki amerykańskiej. w przypadku suszenia kostek buraka ćwikłowego oraz kompozycji na bazie wycieków z buraka z dodatkiem kostek buraka, wysokie temperatury w suszeniu konwekcyjnym (60 i 70°C) prowadzą do większej retencji związków polifenolowych w przeciwieństwie do niskiej temperatury (50°C). Mianowicie zawartość polifenoli była wyższa o ponad 15% w przypadku wycieków z buraka, niemal o 25% w przypadku kostek z buraka oraz o ponad 35% w przypadku kompozycji z 50%-owym dodatkiem kostek buraka. z kolei, w przypadku kompozycji z dodatkiem kostek jabłek do wycieków nastąpił spadek zawartości związków bioaktywnych nawet o 60% wraz ze wzrostem temperatury suszenia konwekcyjnego z 50 do 70°C. Zastosowanie wyższych mocy magnetronów (240 i 360 W) podczas suszenia mikrofalowo-próżniowego w odniesieniu do wycieków z buraka powoduje nieznaczną, około 5% degradację związków polifenolowych. z kolei dla kompozycji z 50%-owym dodatkiem kostek buraka, wzrost mocy magnetronów skutkuje większą retencją polifenoli w stosunku do suszenia w niższej mocy mikrofal (120 W) prawie o 15%, a w przypadku kompozycji z dodatkiem kostek jabłka aż o 35%. Wzrost mocy magnetronów ze 120 do 360 w w przypadku suszenia mikrofalowo-próżniowego kostek buraka sprzyja większej zawartości polifenoli o 25%, a w odniesieniu do kostek jabłka o 15%.
2. Zastosowana obróbka wstępna owoców żurawiny, polegająca na ich odwadnianiu osmotycznym w zagęszczonym soku z aronii, jest odpowiednią metodą na zwiększenie potencjału bioaktywnego kompozycji na bazie wycieków i odwodnionych owoców. Powstała kompozycja żurawinowa odznaczała się wyższym potencjałem bioaktywnym, określanym na podstawie ogólnej zawartości polifenoli – oznaczonej metodą Folina-Ciocalteu, i aktywności przeciwutleniającej (TEAC ABTS). Wykazano, że 30%-owy dodatek owoców żurawiny poddanych obróbce wstępnej pozwala zwiększyć ogólną zawartość polifenoli, a także aktywność przeciwutleniającą nawet o 30% w porównaniu

do wycieków z żurawiny bez tego dodatku oraz do kompozycji z 30%-owym dodatkiem funkcjonalnym bez zastosowania odwadniania osmotycznego. Wydłużenie czasu odwadniania osmotycznego dodatku funkcjonalnego, a także zwiększenie jego udziału w kompozycji z wyciekami z żurawiny, może przyczynić się do uzyskania lepszych rezultatów, co w efekcie pozwoli zagospodarować odpad poprodukcyjny w postaci wycieków, a także owoce żurawiny stanowiące II gatunek.

3. Dodatek kostek buraka i jabłka na poziomie 50% przyczynił się do waloryzacji wycieków z buraka, zwiększając w nich zawartość związków polifenolowych nawet dwukrotnie. Ponadto, 50%-owy dodatek kostek buraka oraz 50%-owy dodatek kostek jabłek do wycieków z buraka pozwolił zwiększyć ich aktywność przeciwutleniającą odpowiednio 3,5 – krotnie oraz 2,5 – krotnie.
4. Dodatek kostek z buraka i jabłka nie skracał czasu suszenia wycieków z buraka, wręcz przeciwnie – wydłużał go z uwagi na to, że spodziewany, korzystny efekt kumulacji ciepła w kostkach stanowiących dodatkowe źródło energii nie rekompensował konieczności długotrwałego suszenia tych kostek. w rezultacie wycieki z buraka były narażone na zbyt długą ekspozycję na działanie czynnika suszącego, co mogło przyczynić się do obniżenia potencjału bioaktywnego całych kompozycji. Wobec tego należy suszyć wycieki i kostki osobno, a następnie po sproszkowaniu mieszać je ze sobą w wybranych proporcjach w celu uzyskania kompozycji o podwyższonej zawartości błonnika i związków bioaktywnych. Innym rozwiązaniem może być dodatek buraka lub jabłka w postaci mniejszych cząstek niż kostki, np. ścinek pochodzących z przetwórstwa, które mogłyby ujednoczyć kompozycję pod kątem rozmiaru jej cząstek, dzięki czemu możliwe byłoby skrócenie czasu suszenia w porównaniu do kompozycji z dodatkiem kostek, a w efekcie uzyskanie większej zawartości związków bioaktywnych.
5. Na podstawie wyników aktywności przeciwutleniającej (TEAC ABTS) zaobserwowano różnice w potencjale bioaktywnym wycieków z owoców borówki amerykańskiej determinowane odmianą. Najkorzystniejsze rezultaty zaobserwowano dla odmiany Berkley, dla której średnia aktywność przeciwutleniająca wyniosła $0,90 \text{ mmol Trolox} \cdot 100 \text{ g s.s.}^{-1}$, a najmniej korzystne dla odmiany Bluecrop, dla której wartość ta była niemal o 60% niższa, co może być związane z budową morfologiczną, a także składem chemicznym tych owoców odmian. Dodatkowo zauważono, że odmiana Berkley posiadała największe owoce spośród pozostałych odmian, natomiast najmniejsze owoce posiadała odmiana Bluejay.

Rekomendacje dotyczące przemysłowego zagospodarowania wyłoków z owoców lub warzyw

Traktując potencjał bioaktywny jako podstawowy wyznacznik jakościowy można zarekomendować korzystne warunki suszenia wyłoków z wybranych owoców i warzyw w celu ich konserwacji z uwzględnieniem efektu waloryzacji.

W przypadku wyłoków z owoców żurawiny, suszonych z dodatkiem owoców żurawiny i owoców żurawiny odwadnianych osmotycznie w soku z aronii, otrzymanych na drodze suszenia łączonego można wskazać warianty z najkorzystniejszym udziałem %-owym dodatku owoców, na podstawie zawartości polifenoli ogółem. Mianowicie, dla próbek wyłoków wzbogaconych owocami bez obróbki wstępnej najwyższą zawartość polifenoli można osiągnąć w wariacie C30-P70 (badania wykazały wartość 1128,35 mg·100 g s.s.⁻¹), a dla próbek z dodatkiem odwadnianych owoców żurawiny – w wariacie COD30-P70 (badania wykazały wartość 1475,69 mg·100 g s.s.⁻¹). W odniesieniu do wyłoków z owoców borówki amerykańskiej można polecić odmianę *Berkley*, która wykazywała największą pojemność przeciwutleniającą (TEAC ABTS) w przypadku wszystkich metod suszenia, przy czym dla tej odmiany optymalnym sposobem jest suszenie konwekcyjne w 50°C (CD50°C) i liofilizacja, gdzie uzyskano wartości pojemności przeciwutleniającej na poziomie odpowiednio 0,81 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹ oraz 0,78 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Wyłoki z borówki amerykańskiej odmiany *Bluecrop*, charakteryzujące się najmniejszymi wartościami pojemności przeciwutleniającej, należy suszyć sposobem łączonym CD70°C/MVD, który pozwolił uzyskać wartość pojemności przeciwutleniającej na poziomie 0,44 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹. Z kolei, wyłoki odmiany *Bluejey* najkorzystniej jest suszyć konwekcyjnie w 50°C i 90°C oraz sposobem łączonym CD50°C/MVD, ponieważ obie metody zapewniły taką samą, najwyższą wartość pojemności przeciwutleniającej wynoszącą 0,71 mmol Trolox·100 g s.s.⁻¹.

Traktując ogólną zawartość polifenoli jako wyróżnik jakościowy dla suszonych próbek wyłoków z buraka fortyfikowanych dodatkami funkcjonalnymi w postaci kostek buraka i jabłka oceniono, że optymalnym sposobem suszenia dla tego surowca jest suszenie mikrofalowo-próżniowe MVD240 W. Dla kompozycji 50BP-50BC osiągnięto wartość polifenoli ogółem na poziomie 2500,34 mg·100 g s.s.⁻¹, a dla kompozycji 50BP-50AC na poziomie 967,41 mg·100 g s.s.⁻¹.

9. Bibliografia

1. Abano, E. E., Amoah, R. S. i Opoku, E. K. (2019). Temperature, microwave power and pomace thickness impact on the drying kinetics and quality of carrot pomace. *Journal of Agricultural Engineering* 50 (1): 28–37. <https://doi.org/10.4081/jae.2019.872>.
2. Abdo, E.M., El-Sayed Shaltout, O., El-Sohaimy, S., Abdalla, A.E.A., Zeitoun, A.M., 2021. Effect of functional beetroot pomace biscuit on phenylhydrazine induced anemia in albino rats: Hematological and blood biochemical analysis. *Journal of Functional Foods*, 78, 104385. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104385>
3. Ainsworth, E. A. i Gillespie, K. M., (2007). Estimation of Total Phenolic Content and Other Oxidation Substrates in Plant Tissues Using Folin-Ciocalteu Reagent. *Nature Protocols* 2 (4), 875–77. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>.
4. Alissa, E.M. i Ferns, G.A. (2012). Functional foods and nutraceuticals in the primary prevention of cardiovascular diseases. *J Nutr Metab*, 569486. <https://doi.org/10.1155/2012/569486>
5. Ando, Y. i Nei, D. (2023). Comparison of Potato Void Structures Dried by Air-Drying, Freeze-Drying, and Microwave-Vacuum-Drying, and the Physical Properties of Powders After Grinding. *Food and Bioprocess Technology* 16 (2): 447–58. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02941-x>.
6. Andreani, E.S., Karboune, S., Liu, L. (2021). Extraction and characterization of cell wall polysaccharides from cranberry (*Vaccinium macrocarpon* var. Stevens) pomace. *Carbohydrate Polymers*, 267, 118212. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118212>
7. Arauna, D., Furriancá, M., Espinosa-Parrilla, Y., Fuentes, E., Alarcón, M., Palomo, I., 2019. Natural Bioactive Compounds As Protectors Of Mitochondrial Dysfunction In Cardiovascular Diseases And Aging. *Molecules*, 24, E4259. <https://doi.org/10.3390/molecules24234259>
8. Balasundram, N., Sundram, K., i Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203.
9. Banerjee, R., Verma, A. K., Das, A. K., Rajkumar, V., Shewalkar, A. A., i Narkhede, H. P. (2012). Antioxidant effects of broccoli powder extract in goat meat nuggets. *Meat Science*, 91(2), 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.016>
10. Baranowski, K., Baca, E., Salamon, A., Michalowska, D., Meller, D., i Karas, M. 2009. Możliwości odzyskiwania i praktycznego wykorzystania związków fenolowych

- z produktów odpadowych: z wyłoków z czarnej porzeczki i aronii oraz z chmielin. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 16(4).
11. Barbosa-Cánovas, G.V., Pierson, M.D., Zhang, Q.H. i Schaffner, D. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal of Food Science*.
 12. Belović, M., Torbica, A., Pajić-Lijaković, I., & Mastilović, J. (2017). Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. *Food Chemistry*, 237, 1226–1233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.045>
 13. Benzie, I. F., Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of „antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.
 14. Błaszczak, A. i Grzeškiewicz, W., 2014. Żywność funkcjonalna - szansa czy zagrożenie dla zdrowia? *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu*, 20(49).
 15. Bober, B., & Oszmiański, J. (2004). Zastosowanie wyłoków aronii do naparów herbat owocowych. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria*, 03(1), 63-72.
 16. Bolling, B.W., Taheri, R., Pei, R., Kranz, S., Yu, M., Durocher, S.N. i Brand, M.H., (2015). Harvest date affects aronia juice polyphenols, sugars, and antioxidant activity, but not anthocyanin stability. *Food Chemistry* 187, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.106>
 17. Borawska, M.H, Markiewicz-Żukowska, R., Naliwajko, S.K. i Socha, K. (2014). Skrypt do wybranych ćwiczeń z analizy żywności. Wydawnictwo uczelniane, Białystok.
 18. Borgen E., Solyakov A. i Skog K. (2001). Effects of precursors composition and water on the formation of heterocyclic amines in meat model systems. *Food Chemistry* 74, 11-19.
 19. Bureau, S., Ścibisz, I., Le Bourvellec, C. i Renard, C. M. G. C. (2012). Effect of Sample Preparation on the Measurement of Sugars, Organic Acids, and Polyphenols in Apple Fruit by Mid-Infrared Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(14), 3551-3563. <https://doi.org/10.1021/jf204785w>
 20. Calín-Sánchez, Á., Kharaghani, A., Lech, K., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A.A. i Tsotsas, E. (2015). Drying Kinetics and Microstructural and Sensory Properties of Black Chokeberry (*Aronia Melanocarpa*) as Affected by Drying Method. *Food and Bioprocess Technology* 8 (1): 63–74. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1383-x>.

21. Čanadanović-Brunet, J.M., Savatović, S.S., Četković, G.S., Vulić, J.J., Djilas, S.M., Markov, S.L. i Cvetković, D.D. (2011). Antioxidant and antimicrobial activities of beet root pomace extracts. *Czech Journal of Food Sciences* 29, 575–585. <http://dx.doi.org/10.17221/210/2010-CJFS>
22. Cano-Lamadrid, M., Lech, K., Michalska, A., Wasilewska, M., Figiel, A., Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, A. A. (2017). Influence of osmotic dehydration pre-treatment and combined drying method on physico-chemical and sensory properties of pomegranate arils, cultivar Mollar de Elche. *Food Chemistry* 232, 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.033>
23. Cao, X., Chen, J., Islam, N., Xu, W. i Zhong S. (2019). Effect of Intermittent Microwave Volumetric Heating on Dehydration, Energy Consumption, Antioxidant Substances, and Sensory Qualities of Litchi Fruit during Vacuum Drying. *Molecules* 24 (23): 4291. <https://doi.org/10.3390/molecules24234291>.
24. Chong, C. H. i Law, C. L. (2011). Application of Intermittent Drying of Cyclic Temperature and Step-Up Temperature in Enhancing Textural Attributes of Dehydrated. *Manilkara Zapota. Drying Technology* 29 (2): 245–52. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.488781>.
25. Cichowska-Bogusz, J., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A.A., Paślawska, M., Witrowa-Rajchert, D. (2020). Physicochemical Properties of Dried Apple Slices: Impact of Osmo-Dehydration, Sonication, and Drying Methods. *Molecules* 25, 1078. <https://doi.org/10.3390/molecules25051078>
26. Cuq, B., Mandato, S., Jeantet, R., Saleh, K., & Ruiz, T. (2013). 7 - Agglomeration/granulation in food powder production. *In Handbook of Food Powders* (pp. 150–177). Woodhead Publishing.
27. Cybul, M. i Nowak, R. (2008). Przegląd metod stosowanych w analizie właściwości antyoksydacyjnych wyciągów roślinnych. *Herba Polonica* 54 (1): 68–77.
28. Davis, L., Jung, J., Colonna, A., Hasenbeck, A., Gouw, V. i Zhao, Y. (2018). Quality and Consumer Acceptance of Berry Fruit Pomace–Fortified Specialty Mustard. *Journal of Food Science* 83 (7): 1921–32. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14196>.
29. Deng, L.-Z., Yang, X.-H., Mujumdar, A.S., Zhao, J.-H., Wang, D., Zhang, Q., Wang, J., Gao, Z.-J. i Xiao, H.-W. (2018). Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Null* 36, 893–907. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1361439>

30. Doleyres, Y., Fliss, I. i Lacroix, C. (2002). Quantitative determination of the spatial distribution of pure- and mixed-strain immobilized cells in gel beads by immunofluorescence. *Appl Microbiol Biotechnol* 59, 297–302. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1004-x>
31. Domian, E. (2005). Właściwości fizyczne modelowej żywności w proszku w aspekcie metody aglomeracji. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(45), 87-97.
32. Elisia, I. & Kitts, D.D. (2008). Anthocyanins inhibit peroxy radical-induced apoptosis in Caco-2 cells. *Mol Cell Biochem* 312, 139–145. <https://doi.org/10.1007/s11010-008-9729-1>
33. Erdogan, U., Ipek, M., Aydin, C. i Pirlak, L. (2012). Some Physical Properties of Dry Mulberries (*Morus alba* L.). *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 30(2/3): 120–24. <https://doi.org/10.51758/AGJSR-2/3-2012-0017>.
34. Erinle, T.J. i Deborah, I.A. (2022). Fruit pomaces—their nutrient and bioactive components, effects on growth and health of poultry species, and possible optimization techniques. *Animal Nutrition* 9, 357–377. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.11.011>
35. Feng, L., Xu, Y., Xiao, Y., Song, J., Li, D., Zhang, Z., Liu, Chunquan, Liu, Chunju, Jiang, N., Zhang, M. i Zhou, C. (2021). Effects of pre-drying treatments combined with explosion puffing drying on the physicochemical properties, antioxidant activities and flavor characteristics of apples. *Food Chemistry* 338, 128015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128015>
36. Figiel, A. (2010). Drying Kinetics and Quality of Beetroots Dehydrated by Combination of Convective and Vacuum-Microwave Methods. *Journal of Food Engineering* 98 (4): 461–70. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.029>.
37. Fronc, A. i Nawirska, A. (1994). Możliwości wykorzystania odpadów z przetwórstwa owoców. *Ochrona Środowiska*, 2 (53), 31-32
38. Glinka, M., Łukajtis, R., Dyguła, P. K. i Kamiński, M. A. (2017). Techniki chromatografii cieczowej, stosowane w analityce technicznej procesów hydrolizy biomasy ligno-celulozowej - BMLC. *Przegląd. Camera Separatoria* 9: 92–105.
39. Gökmen V. i Şenyuva H. Z. (2006). Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry* 99, 238-243
40. Gouw, V.P., Jung, J. i Zhao, Y. (2017). Functional properties, bioactive compounds, and in vitro gastrointestinal digestion study of dried fruit pomace powders as functional food ingredients. *LWT - Food Science and Technology* 80, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.015>

41. Górnaś, P., Juhņeviča-Radenkova, K., Radenkovs, V., Mišina, I., Pugajeva, I., Soliven, A. i Segliņa, D. (2016). The impact of different baking conditions on the stability of the extractable polyphenols in muffins enriched by strawberry, sour cherry, raspberry or black currant pomace. *LWT - Food Science and Technology* 65, 946–953. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.029>
42. GUS, (2020). Wynikowy szacunek głównych ziemiopłodów rolnych i ogrodnictw w 2020 r. Główny Urząd Statystyczny. www.stat.gov.pl, dostęp: 15.10.2021 r.
43. Hatamipour M.S. i Mowla D. (2002). Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *Journal of Food Engineering*, 55 (3), s. 247–252.
44. Heras-Ramírez, M. E., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A. A., Barnard, J., Talamás-Abbud, R., Torres-Muñoz, V., & Salas-Muñoz, E. (2012). Effect of blanching and drying temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace. *Food Bioprocess Technology*, 5, 2201–2210.
45. Horubała, A. (1999). Pojemność przeciwutleniająca i jej zmiany w procesach przetwarzania owoców i warzyw. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 43 (3), 30-32.
46. Irigoytia, M. B., Irigoytia, K., Sosa, N., de Escalada Pla, M. i Genevois, C. (2022). Blueberry by-product as a novel food ingredient: physicochemical characterization and study of its application in a bakery product. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 102 (11): 4551–60. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11812>.
47. Ivanova, G.V. ; Kolman, O. Ya i Nikulina, E.O. (2021). Practical Basics of the Functional Fermented Milk Desserts Development with Fruit and Berry Additives. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science* 848 (1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012019>.
48. Janiszewska-Turak, E., Rybak, K., Grzybowska, E., Konopka, E. i Witrowa-Rajchert, D. (2021). The Influence of Different Pretreatment Methods on Color and Pigment Change in Beetroot Products. *Molecules* 26 (12). <https://doi.org/10.3390/molecules26123683>.
49. Kamiloglu, S., Pash, A., Ozcelik, B., Camp, J. i Capanoglu, E. (2015). Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry* 186: 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.046>.

50. Kapasakalidis, P. G., Rastall, R. A., i Gordon, M. H. (2006). Extraction of Polyphenols from Processed Black Currant (*Ribes nigrum* L.) Residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 4016–4021. <https://doi.org/10.1021/jf0529991>
51. Kapusta, F., 2017. Rynek warzyw w Polsce i jego powiązania międzynarodowe. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego* 17(32), 93–105.
52. Kayran, S. i Doymaz, I. (2017). Infrared Drying and Effective Moisture Diffusivity of Apricot Halves: Influence of Pretreatment and Infrared Power. *Journal of Food Processing and Preservation* 41 (2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12827>.
53. Knorr, D. (1993) Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technology*, **47(6)** 156–161.
54. Konopacka, D., Piecko, J., Mieszczakowska-Frac, M., Markowski, J., Rutkowski, K., Kruczynska, D. i Buczek, M. (2017). Świdośliwa - mało znany gatunek owoców - wstępna ocena przydatności dla przetwórstwa. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny* 61 (11–12). <https://doi.org/10.15199/64.2017.11-12.1>.
55. Kowalska, H., Marzec, A., Piotrowski, D. i Kowalska, J. (2018). Zastosowanie mikrotomografii do badania zmian mikrostruktury żywności w procesie odwadniania i zamrażania. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* nr 1.
56. Kowalska, J., Majewska, E. i Lenart, A. (2011). Aktywność wody napoju kakaowego w proszku o zmodyfikowanym składzie surowcowym. *Żywność: nauka - technologia - jakość*, nr 4 (77): 57–65.
57. Kowalski, S.J. (1996). Mathematical modeling of shrinkage during drying. *Drying Technology*, 14(2), 307–331.
58. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) (2018). *Rynek owoców w Polsce*. ISBN 978-83-66255-00-5.
59. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) (2018). *Rynek warzyw w Polsce*. ISBN 978-83-66255-01-2.
60. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) (2020). *Polska największym unijnym producentem nuraków ćwikłowych*. Wydział Analiz Rynkowych Biura Analiz i Strategii KOWR. Warszawa, 25.11.2020 r.
61. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) (2021). *Czarna porzeczka – polski superowoc*. Wydział Analiz Rynkowych Biura Analiz i Strategii KOWR. Warszawa, 31.07.2021 r.

62. Krivokapić, S., Vlaović, M., Damjanović, V.B., Perović, A. i Perović, S. (2021). Biowaste as a Potential Source of Bioactive Compounds—A Case Study of Raspberry Fruit Pomace. *Foods* 10 (4): 706. <https://doi.org/10.3390/foods10040706>.
63. Krzysztofik, B., Drózdź, T., Nawara, P. i Wrona, P. (2015). Metody zabezpieczania i utrwalania surowców oraz produktów żywnościowych. *Kraków: Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*. ISBN 978-83-64377-14-3.
64. Kühn, S. i Temelli, F. (2017). Recovery of bioactive compounds from cranberry pomace using ternary mixtures of CO₂ + ethanol + water. *The Journal of Supercritical Fluids* 130, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.028>
65. Kumar, V., Kushwaha, R., Goyal, A., Tanwar, B., i Kaur, J. (2018). Process optimization for the preparation of antioxidant rich ginger candy using beetroot pomace extract. *Food Chemistry*, 245, 168–177.
66. Kuźniar, W., Kawa, M. i Kuźniar, P. (2016). Konsumenci wobec bezpiecznych rozwiązań w zakresie produkcji żywności. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego* 16(31), 243–250.
67. Lachowicz, S., Oszmiański, J., Wilczyńska, M., Zaguła, G., Saletnik, B. i Puchalski, C. (2020). Impact Mineralization of Chokeberry and Cranberry Fruit Juices Using a New Functional Additive on the Protection of Bioactive Compounds and Antioxidative Properties. *Molecules* (Basel, Switzerland) 25 (3): 659. <https://doi.org/10.3390/molecules25030659>.
68. Landbo A. K. i Meyer A.S. (2001). Enzyme-assisted extraction of antioxidative phenols from blackcurrant juice press residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3169-3177.
69. Lech L., Figiel A., Michalska A., Wojdyło A., Nowicka P. (2018). The effect of selected fruit juice concentrates used as osmotic agents on the drying kinetics and chemical properties of vacuum-microwave drying of pumpkin. *Journal of Food Quality*, 2018, 1 – 11. <https://doi.org/10.1155/2018/7293932>
70. Lech, K., Figiel, A., Wojdyło, A., Korzeniowska, M., Serowik, M. i Szarycz, M. (2015). Drying Kinetics and Bioactivity of Beetroot Slices Pretreated in Concentrated Chokeberry Juice and Dried with Vacuum Microwaves. *Drying Technology*, 33 (13): 1644–53. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1075209>.
71. Li, J., Solval, K.M., Alfaro, L., Zhang, J., Chotiko, A., Delgado, J.L.B., Chouljenko, A., Bankston, D., Bechtel, P.J. i Sathivel, S. (2015). Effect of Blueberry Extract From

- Blueberry Pomace on the Microencapsulated Fish Oil. *Journal of Food Processing & Preservation* 39, 199–206. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12222>
72. Łaba, S. (2012). Proekologiczne działania w zakresie zagospodarowania odpadów w przemyśle owocowo-warzywnym. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 14(5), 133-138.
73. Łapczyńska-Kordon, B. i Krzysztofik, B. (2008). Wpływ metod i parametrów suszenia na zmiany barwy suszów owocowo-warzywnych. *Inżynieria Rolnicza R.* 12, nr 1(99): 251–57.
74. Łatka, U. (2003). *Technologia i towaroznawstwo*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna. Warszawa. ISBN 978-83-02-08784-4. 109-111.
75. Mahiuddin, M., Khan, M.I.H., Kumar, C., Rahman, M.M. i Karim, M.A. (2018). Shrinkage of Food Materials During Drying: Current Status and Challenges. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 17, 1113–1126. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12375>
76. Majerska, J., Michalska, A. i Figiel, A. (2019). a review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science & Technology* 88, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
77. Martins, G. R., Monteiro, A. F., Amaral, F. R. L. i Silva, A. S. A. (2021). a validated Folin-Ciocalteu method for total phenolics quantification of condensed tannin-rich açai (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds extract. *Journal of Food Science and Technology* 58 (12): 4693–4702. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04959-5>.
78. Mayor L. i Sereno A.M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering Volume*, 61(3), s. 373–386.
79. McClements, D., Xiao, H., 2017. Designing food structure and composition to enhance nutraceutical bioactivity to support cancer inhibition. *Seminars in Cancer Biology* 46. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2017.06.003>
80. Michalska, A., Wojdyło, A., Lech, K., Łysiak, G.P. i Figiel, A. (2016). Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry* 207, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.075>
81. Michalska, A., Wojdyło, A., Łysiak, G.P., Lech, K. i Figiel, A. (2017). Functional relationships between phytochemicals and drying conditions during the processing of blackcurrant pomace into powders. *Advanced Powder Technology* 28, 1340–1348. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.03.002>
82. Miller, N. J., Sampson, J., Candeias, L. P., Bramley, P. M. i Roce-Evans, C. A. (1996). Antioxidant activities of carotens and xanthophylls. *FEBS Lett.*, 384, 240-242.

83. Molenda, J. (2007). Wybrane niekonwencjonalne metody utrwalania żywności. *Medycyna Weterynaryjna*, 63 (09): 1016–20.
84. Molyneux, P.H. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 26, (2), 211-219.
85. Moore, M.A., Park, C.B. i Tsuda, H. (1998). Soluble and insoluble fiber influences on cancer development. *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 27, 229–242. [https://doi.org/10.1016/S1040-8428\(98\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S1040-8428(98)00006-7)
86. Morales F. J. i Jimenez-Pérez S. (1998). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry* 72, 119-125.
87. Morales, F. J. (2005). Assessing the non-specific hydroxyl radical scavenging properties of melanoidins in Fenton-type reaction system. *Analytica Chimica Acta* 534, 171-176
88. Naliyadhara, N., Kumar, A., Girisa, S., Daimary, U. D., Hegde, M. i Kunnumakkara. (2022). Pulsed Electric Field (PEF): Avant-Garde Extraction Escalation Technology in Food Industry. *Trends in Food Science & Technology*, 122: 238–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.019>.
89. Nawirska-Olszańska, A., Stępień, B., Biesiada, A., Kolniak-Ostek, J. i Oziembłowski, M. (2017). Rheological, Chemical and Physical Characteristics of Golden Berry (*Physalis Peruviana* L.) after Convective and Microwave Drying. *Foods* 6 (8): 60. <https://doi.org/10.3390/foods6080060>.
90. Neha, P., Jain, S. K., Jain, N. K., Jain, H. K. i Mittal, H. K. (2018). Chemical and functional properties of Beetroot (*Beta vulgaris* L.) for product development: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 3190–3194
91. Nemetz, N. J., Schieber, A. i Weber, F. (2021). *Application of Crude Pomace Powder of Chokeberry, Bilberry, and Elderberry as a Coloring Foodstuff*. *Molecules* 26 (9). <https://doi.org/10.3390/molecules26092689>.
92. Neves A, Godina R, Azevedo SG, Matias JCO (2020) a comprehensive review of industrial symbiosis. *J Clean Prod* 2020:247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>
93. Niesteruk, R. (1999). Właściwości termofizyczne żywności, cz.II. *Politechnika Białostocka*, Rozprawy naukowe, nr 62. ISSN 0867-096X
94. Nistor, O.-V., Seremet Ceclu, L., Andronoiu, D.G., Rudi, L. i Botez, E. (2017). Influence of different drying methods on the physicochemical properties of red beetroot

- (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chemistry* 236, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.129>
95. Nowak, D., i Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods* 9 (10): 1488. <https://doi.org/10.3390/foods9101488>.
96. Nowicka, P., Wojdyło, A. i Samoticha, J. (2016). Evaluation of Phytochemicals, Antioxidant Capacity, and Antidiabetic Activity of Novel Smoothies from Selected Prunus Fruits. *Journal of Functional Foods* 25 (sierpień): 397–407. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.06.024>.
97. Oszmiański, J. i Wojdyło, A. (2005). Aronia melanocarpa phenolics and their antioxidant activity. *Eur Food Res Technol* 221, 809–813. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0002-5>.
98. Oszmiański, J., Wojdyło, A., Lachowicz, S., Gorzelany, J. i Matłok, N. (2016). Comparison of Bioactive Potential of Cranberry Fruit and Fruit-Based Products versus Leaves. *Journal of Functional Foods* 22 (kwiecień): 232–42. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.01.015>.
99. Pałacha, Z. (2008). Aktywność wody-ważny parametr trwałości żywności. *Przemysł Spożywczy*, 4.
100. Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L. i Sarsavadia, P. N. (2000). Drying Kinetic Studies on Single Layer Thompson Seedless Grapes Under Controlled Heated Air Conditions. *Journal of Food Processing and Preservation* 24 (4): 335–52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2000.tb00423.x>.
101. Paz, M., Gúllon, P., Barosso, M.F., Carvalho, A.P., Domingues, V.F., Gomes, A.M., Becker, H., Longhinotti, E. i Delerue-Matos, C. (2015). Brazilian Fruit Pulps as Functional Foods and Additives: Evaluation of Bioactive Compounds. *Food Chemistry* 172: 462–68. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.102>.
102. Peng, Xin-Wen, Ren, Jun-Li, Zhong, Lin-Xin, Cao, Xue-Fei i Sun, Run-Cang (2011). Microwave-Induced Synthesis of Carboxymethyl Hemicelluloses and Their Rheological Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59 (2): 570–76. <https://doi.org/10.1021/jf1036239>.
103. Pomykała, A., Raczyński, J. (2020). Europejski Zielony Ład dla Unii Europejskiej i jej mieszkańców. *Analizy*, 12, 6 – 12.
104. Rajkumar, M. i Chandramohan, A. (2017). Synthesis, Growth, Structural, Optical, Thermal, Electrical and Mechanical Properties of Hydrogen Bonded Organic Salt Crystal:

- Triethylammonium-3,5-dinitrosalicylate. *Journal of Molecular Structure*, 1134, 762-769. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.01.034>
105. Ramalingum, N. i Mahomoodally, M.F. (2014). The therapeutic potential of medicinal foods. *Adv Pharmacol Sci* 2014, 354264. <https://doi.org/10.1155/2014/354264>
106. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. i Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
107. Rodríguez-Werner, M., Winterhalter, P. i Esatbeyoglu, T. (2019). Phenolic Composition, Radical Scavenging Activity and an Approach for Authentication of Aronia melanocarpa Berries, Juice, and Pomace. *Journal of Food Science* 84, 1791–1798. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14660>
108. Rohm, H., Brennan, C., Turner, C., Günther, E., Campbell, G., Hernando, I. i Kontogiorgos, V. (2015). Adding Value to Fruit Processing Waste: Innovative Ways to Incorporate Fibers from Berry Pomace in Baked and Extruded Cereal-based Foods—A SUSFOOD Project. *Foods*, 4(4), 690–697. <https://doi.org/10.3390/foods4040690>
109. Ross, K. A., DeLury, N., Fukumoto, L. i Diarra, M. S. (2020). Dried berry pomace as a source of high value-added bioproduct: drying kinetics and bioactive quality indices. *International Journal of Food Properties*, 23 (1): 2123–43. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1847144>
110. Samborska, K., Eliasson, L., Marzec, A., Kowalska, J., Piotrowski, D., Lenart, A. i Kowalska, H. (2019). The Effect of Adding Berry Fruit Juice Concentrates and By-Product Extract to Sugar Solution on Osmotic Dehydration and Sensory Properties of Apples. *Journal of Food Science and Technology* 56 (4): 1927–38. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03658-0>.
111. Santos, K. C., J. S. Guedes, M. L. Rojas, G. R. de Carvalho, i P. E. D. Augusto (2021). Enhancing Carrot Convective Drying by Combining Ethanol and Ultrasound as Pre-Treatments: Effect on Product Structure, Quality, Energy Consumption, Drying and Rehydration Kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry* 70 (styczeń): 105304. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105304>.
112. Sham, P.W.Y, Scaman, C.H. i Durance, T.D. (2001). Texture of Vacuum Microwave Dehydrated Apple Chips as Affected by Calcium Pretreatment, Vacuum Level, and Apple Variety. *Journal of Food Science* 66 (9): 1341–47. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15212.x>.

113. Siddiqui, N., Rauf, A., Latif, A. i Mahmood, Z. (2017). Spectrophotometric Determination of the Total Phenolic Content, Spectral and Fluorescence Study of the Herbal Unani Drug Gul-e-Zoofa (*Nepeta Bracteata* Benth). *Journal of Taibah University Medical Sciences* 12 (4): 360–63. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2016.11.006>.
114. Skog K. I., Johansson M. A. E. i Jägerstad M. I. (1998). Carcinogenic heterocyclic amines in model systems and cooked foods: a review on formation, occurrence and intake. *Food and Chemical Toxicology* 36, 879-896.
115. Snyder, L. R. i Kirkland, J. J. (1979). *Introduction to Modern Liquid Chromatography*. 2d ed. New York: Wiley. ISBN: 978-0-471-03822-1.
116. Sokół-Łętowska, A., i Oszmianski, J. (1998). Właściwości przeciwutleniające naturalnych polifenoli. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Technologia Żywności* 12: 73–84.
117. Sójka, M., Kołodziejczyk, K., Milala, J., Abadias, M., Viñas, I., Guyot, S., i Baron, A. (2015). Composition and properties of the polyphenolic extracts obtained from industrial plum pomaces. *Journal of Functional Foods*, 12, 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.11.015>
118. Sun, Q., Sun, F., Xia, X., Xu, H. i Kong, B. (2019). The comparison of ultrasound-assisted immersion freezing, air freezing and immersion freezing on the muscle quality and physicochemical properties of common carp (*Cyprinus carpio*) during freezing storage. *Ultrasonics Sonochemistry* 51, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.006>
119. Szajdek, A. i Borowska, J. (2004). Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 11 (4S), 5-28.
120. Tamanna, N. i Mahmood, N. (2015). Food Processing and Maillard Reaction Products: Effect on Human Health and Nutrition. *Int J Food Sci* 2015, 526762. <https://doi.org/10.1155/2015/526762>
121. Tarko, T., Duda-Chodak, A., Bebak, A. (2012). Aktywność biologiczna wybranych wyciągów owocowych oraz warzywnych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 4 (83), pp. 55-65.
122. Teleszko, M. (2011). Żurawina wielkoowocowa – możliwości wykorzystania do produkcji biożywności. *Żywność Nauka Technologia Jakość* 18 (6), 132-141.
123. Toda, M., Hellwig, M., Henle, T. i Vieths, S. (2019). Influence of the Maillard Reaction on the Allergenicity of Food Proteins and the Development of Allergic Inflammation. *Curr Allergy Asthma Rep* 19, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s11882-019-0834-x>

124. Tsuruta, T., Tanigawa, H. i Sashi, H. (2015). Study on Shrinkage Deformation of Food in Microwave–Vacuum Drying. *Drying Technology* 33, 1830–1836. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1036286>
125. Tyrowicz, J., *Metody utrwalania żywności*. Przemysł 2006 –pdf
126. Uyanık, G.K. i Güler, N. (2013). a Study on Multiple Linear Regression Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 106, 234–240. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.027>
127. White, B.L., Howard, L.R. i Prior, R.L. (2010). Proximate and Polyphenolic Characterization of Cranberry Pomace. *J. Agric. Food Chem.* 58, 4030–4036. <https://doi.org/10.1021/jf902829g>
128. Wilczyńska, A. (2009). Metody oznaczania aktywności antyoksydacyjnej miodów pszczelich. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 42 (3), 870–874.
129. Wojdyło, A., Oszmiański, J., i Czemerzys, R. (2007). Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in 32 Selected Herbs. *Food Chemistry*, 105 (3): 940–49. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038>.
130. Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S. i Wang, S. (2006). Trends in Microwave-Related Drying of Fruits and Vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 17 (10): 524–34. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.011>.
131. Zhang, Z., Zeng, X., Brennan, C. S., Ma, H., i Aadil, R. M. (2019). Preparation and characterisation of novelty food preservatives by Maillard reaction between ϵ -polylysine and reducing sugars. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(5), 1824–1835. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14083>
132. Zielińska, M. i Michalska, A. (2018). The Influence of Convective, Microwave Vacuum and Microwave-Assisted Drying on Blueberry Pomace Physicochemical Properties. *International Journal of Food Engineering* 14 (3). <https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0332>.

10. Dorobek naukowy

PUBLIKACJE:

- Lachowicz, S., Michalska, A., Lech, K., **Majerska, J.**, Oszmiański, J., & Figiel, A. (2019). Comparison of the effect of four drying methods on polyphenols in saskatoon berry. *LWT-Food Science and Technology* , 111 , 727–736. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.054>
- **Majerska, J.**, Michalska, A., & Figiel, A. (2019). a review of new directions in managing fruit and vegetable processing byproducts. *Trends in Food Science & Technology* , 88 , 207–219. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
- Michalska-Ciechanowska, A., Brzezowska, J., Wojdyło, A., Gajewicz-Skretna, A., Ciska, E., & **Majerska, J.** (2021). Chemometric contribution for deeper understanding of thermally-induced changes of polyphenolics and the formation of hydroxymethyl-L-furfural in chokeberry powders. *Food Chemistry* , 342 , 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128335>
- Michalska-Ciechanowska, A., **Majerska, J.**, Brzezowska, J., Wojdyło, A., & Figiel, A. (2020). The Influence of Maltodextrin and Inulin on the Physico-Chemical Properties of Cranberry Juice Powders. *ChemEngineering* , 4 (1), 1–12. <http://doi.org/10.3390/chemengineering4010012>
- Michalska, A., Wojdyło, A., Brzezowska, J., **Majerska, J.**, & Ciska, E. (2019). The Influence of Inulin on the Retention of Polyphenolic Compounds during the Drying of Blackcurrant Juice. *Molecules* , 24 (22), 1–19. <http://doi.org/10.3390/molecules24224167>
- Michalska, A., Wojdyło, A., **Majerska, J.**, Lech, K., & Brzezowska, J. (2019). Qualitative and Quantitative Evaluation of Heat-Induced Changes in Polyphenols and Antioxidant Capacity in *Prunus domestica* L. By-products. *Molecules* , 24 (16), 1–16. <http://doi.org/10.3390/molecules24163008>

PREZENTACJE KONFERENCYJNE:

- **Majerska Joanna**, Anna Michalska, Krzysztof Lech, Aneta Wojdyło pt. „Quantitative changes of polyphenolics and antioxidant capacity in plum by-product powders caused by different drying techniques”, IDS 2018, Walencja (Hiszpania), poster.

- Anna Michalska, Krzysztof Lech, **Majerska Joanna** pt. „Physical properties of novel cranberry powders composed of by-products and fruits”, IDS 2018, Walencja (Hiszpania), poster.

- **Majerska Joanna**, Anna Michalska, Adam Figiel, Jessica Brzezowska, Klaudia Masztalercz pt. „Zastosowanie wyłoków owocowych do produkcji nutraceutyków i żywności funkcjonalnej”, Probiotyki – Zioła – Nutraceutyki 2019, Wrocław (Polska), prezentacja posterowa (NAGRODA - II miejsce).

- Michalska Anna, **Majerska Joanna**, Jessica Brzezowska, Aneta Wojdyło, Adam Figiel pt. „The influence of different drying methods on the physico-chemical properties of chokeberry powders”, NBDS 2019, St. Petersburg (Rosja), poster

- Michalska Anna, **Majerska Joanna**, Jessica Brzezowska, Aneta Wojdyło, Adam Figiel pt. „The effect of the different type of carrier on the physico-chemical properties of the spray dried cranberry powders ”, NBDS 2019, St. Petersburg (Rosja), poster

UZYSKANE GRANTY:

- Innowacyjny Doktorat 2020/2021 IV edycja (~60 000 zł)

ODBYTE STAŻE

- staż naukowy w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (13.09. – 17.09.2021 r.)

Celem wyjazdu było zbadanie procesu otrzymania proszków ze świeżych wyłoków na drodze suszenia rozpyłowego. Rezultatem wyjazdu stażowego było odrzucenie hipotezy nr 3 w projekcie Innowacyjny Doktorat: Homogenizacja świeżych wyłoków oraz połączenie ich z sokiem i inuliną, przyczyni się m. in. do wzbogacenia wyłoków w natywne substancje utracone podczas ich produkcji (tłoczenie), a także pozwolą uzyskać proszek z wyłoków za pomocą suszenia rozpyłowego dzięki rozdrobnieniu surowca do rozmiaru mniejszego od średnicy dyszy rozpylacza. Trwają konsultacje naukowe z jednostką SGGW mające na celu podjęcie nowych działań i środków, które pozwolą w przyszłości potwierdzić wyżej wymienioną hipotezę. Źródłem finansowania jest projekt badawczy Innowacyjny Doktorat (N070/0010/20).

- staż zawodowy w firmie PROMIS-TECH SP. z O. O. (01.06. – 30.09.2021 r.)

Celem stażu było szczegółowe rozpoznanie procesów suszenia wspomaganych mikrofalami w warunkach obniżonego ciśnienia na kompozycjach z jabłkami oraz burakami.

11. Spis rysunków i tabel

Rysunek 1 Model barw w przestrzeni CIE L*a*b*. Źródło: https://www.tequipment.net	30
Rysunek 2 Owoce borówki amerykańskiej, odmiana: a – Bluejay, b – Bluecrop, c – Berkley.	35
Rysunek 3 Owoce żurawiny odmiany ‘Pilgrim’.	35
Rysunek 4 Korzenieburaka odmiany ‘Alto’	36
Rysunek 5 Schemat blokowy suszenia komponentów poszczególnych komponentów oraz kompozycji.	39
Rysunek 6 Schemat liofilizatora.....	41
Rysunek 7 Schemat suszarki konwekcyjnej.....	42
Rysunek 8 Schemat suszarki mikrofalowo-próżniowej	43
Rysunek 9 Kinetyka suszenia konwekcyjnego wyłoków z owoców trzech odmian borówki amerykańskiej przy zastosowaniu temperatury powietrza 50, 70 i 90°C.....	49
Rysunek 10 Kinetyka suszenia konwekcyjnego wyłoków z owoców trzech odmian borówki amerykańskiej przy zastosowaniu temperatury powietrza 50, 70 i 90°C.....	51
Rysunek 11 Kinetyka dosuszania mikrofalowo-próżniowego wyłoków z owoców trzech odmian borówki amerykańskiej (a – Berkley, b – Bluecrop, c – Bluejay) przy mocy mikrofal 120 w po podsuszaniu konwekcyjnym w temperaturze 50, 70 i 90°C.....	53
Rysunek 12 Kinetyka dosuszania mikrofalowo-próżniowego wyłoków z żurawiny ze zmiennym udziałem dodatku owoców z żurawiny (wariant I) i owoców żurawiny odwadnianych osmotycznie (wariant II) przy zastosowaniu mocy 240 w po podsuszaniu konwekcyjnym w temp. 60°C.	54
Rysunek 13 Kinetyka suszenia konwekcyjnego: a – wyłoków z buraka (100BP), B – kostek buraka (100BC) i kostek jabłka (100AC), C – kompozycji wyłoków z buraka z kostkami buraka (50BP- 50BC) i kompozycji wyłoków z buraka z kostkami jabłka (50BP-50AC).	58
Rysunek 14 Zdjęcie kompozycji 50BP50BC (a, b, c) i 50BP50AC (a', b', c') po suszeniu konwekcyjnym w temperaturze 50, 60 i 70°C.....	59
Rysunek 15 Kinetyki suszenia mikrofalowo-próżniowego: a – wyłoków z buraka (100BP), B – kostek buraka (100BC), C – kostek jabłka (100AC), D – kompozycji wyłoków z buraka z kostkami buraka (50BP-50BC), E –kompozycji wyłoków z buraka z kostkami jabłka (50BP-50AC)	62
Rysunek 16 Zdjęcie kompozycji 50BP50BC (a, b, c) i 50BP50AC (a', b', c') po suszeniu mikrofalowo-próżniowym w mocy 120, 240 i 30 W.	64
Rysunek 17 Kinetyki dosuszania mikrofalowo-próżniowego dla 100BP – wyłoków z buraka, 100BC – kostek buraka, 100AC – kostek jabłka, 50BP-50BC – kompozycji wyłoków z buraka z kostkami buraka i 50BP-50AC – kompozycji wyłoków z buraka z kostkami jabłka.....	64
Rysunek 18 Parametry barwy CIE L*a*b* dla wyłoków z borówki amerykańskiej odmiany ‘Berkley’.	69
Rysunek 19 Parametry barwy CIE L*a*b* dla wyłoków z borówki amerykańskiej odmiany ‘Bluejay’.	69
Rysunek 20 Parametry barwy CIE L*a*b* dla wyłoków z borówki amerykańskiej odmiany ‘Bluecrop’	70
Rysunek 21 Aktywność przeciwutleniająca trzech odmian wyłoków z borówki amerykańskiej (Berkley, Bluejay, Bluecrop).....	79
Rysunek 22 Ogólna zawartość polifenoli dla kompozycji na bazie wyłoków z żurawiny z dodatkiem żurawiny i żurawiny odwadnianej osmotycznie w soku z aronii.	80
Rysunek 23 Aktywność przeciwutleniająca TEAC ABTS dla kompozycji na bazie wyłoków z żurawiny z dodatkiem żurawiny i żurawiny odwadnianej osmotycznie w soku z aronii.	81
Rysunek 24 Pojemność przeciwutleniająca FRAP dla kompozycji wyłoków z buraka wzbogacanych kostkami buraka i jabłka.....	88

Tabela 1 Surowce, dodatki funkcjonalne, rodzaj obróbki wstępnej i stworzone warianty kompozycji przedstawione w monografii lub publikacjach uzupełniających pracę doktorską.....	38
Tabela 2 Parametry procesów suszenia przedstawione w monografii lub publikacjach uzupełniających pracę doktorską	38
Tabela 3 Wyniki analiz fizycznych wycieków z borówki amerykańskiej trzech odmian.	66
Tabela 4 Właściwości fizyczne kompozycji na bazie wycieków z żurawiny z dodatkiem funkcjonalnym w postaci owoców żurawiny.	72
Tabela 5 Właściwości fizyczne kompozycji na bazie wycieków z buraka z dodatkiem funkcjonalnym w postaci kostek buraka i jabłka.....	76
Tabela 6 Zawartość związków polifenolowych (mg·100 g-1 s.s.) suszy z wycieków z buraka z dodatkami funkcjonalnymi w postaci kostek buraka i jabłka (100BP, 100BC, 50BP-50BC, 50BP-50AC), otrzymanych wybranymi sposobami suszenia.	85
Tabela 7 Zawartość związków polifenolowych (mg·100 g-1 s.s.) w kostkach jabłka uzyskanych wybranymi sposobami suszenia.	87