

WPŁYW OBRÓBKII WSTĘPNEJ ULTRADŹWIĘKAMI NA PRZEBIEG SUSZENIA ORAZ BARWĘ I ZAWARTOŚĆ BETALAIN W BURAKU ĆWIKŁOWYM

Aleksandra Fijałkowska, Małgorzata Nowacka,
Dorota Witrowa-Rajchert

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu oddziaływania ultradźwięków na energochłonność i przebieg procesu suszenia oraz właściwości suszonej tkanki buraka ćwikłowego, tj. barwę i zawartość barwników betalainowych. Plastry blanszowano 3 minuty w wodzie o temperaturze 90°C lub poddano działaniu ultradźwięków o częstotliwości 35 kHz przez 10 oraz 30 minut, a następnie suszono konwekcyjnie w 70°C. Blanszowanie oraz fale ultradźwiękowe aplikowane przez 30 minut wpłynęły na skrócenie czasu suszenia o 5–6% w stosunku do tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym, co spowodowało istotne zmniejszenie zużycia energii podczas procesu suszenia – o 10,5–10,8%. Zastosowanie ultradźwięków wywołało znaczące zmiany barwy suszu poprzez zwiększenie jasności oraz zmniejszenie udziału barw czerwonej i żółtej. W tkance świeżej potraktowanej ultradźwiękami przez 30 minut oraz blanszowanej uzyskano istotnie niższą zawartość betalain. Natomiast w przypadku suszu zastosowanie ultradźwięków oraz blanszowanie nie wpłynęło istotnie na zawartość barwników betalainowych.

Słowa kluczowe: suszenie, zużycie energii, blanszowanie, ultradźwięki, barwa, betalainy

WSTĘP

Owoce i warzywa zawierają witaminy, aromaty, barwniki, antyoksydanty i składniki mineralne. Wiele z tych składników charakteryzuje się wrażliwością na wysoką temperaturę oraz zmiany chemiczne. Straty niektórych składników podczas przetwarzania, niska wydajność procesu, a także długi czas i wysoka energochłonność stwarzają konieczność poszukiwania optymalnych rozwiązań przez połączenie konwencjonalnych metod utrwa-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Aleksandra Fijałkowska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa, e-mail: aleksandra_fijalkowska@sggw.pl

lania żywności z nowoczesnymi technikami obróbki wstępnej [Fernandes i Rodriguez 2007, Chemat i in. 2011].

Suszenie konwekcyjne jest szeroko stosowaną metodą utrwalania owoców i warzyw, mającą na celu uzyskanie produktu o przedłużonym okresie trwałości [Fernandes i in. 2008a]. Jednak wykorzystana w tym procesie wysoka temperatura może znacznie pogarszać jakość końcowego produktu [Azoubel i in. 2010]. Ze względu na zwiększające się zapotrzebowanie na produkty o wyższej jakości, z jednoczesnym zmniejszeniem kosztów procesu, stosuje się połączenie suszenia konwekcyjnego z aplikacją ultradźwięków. Ze względu na ich nietermiczny charakter, ultradźwięki są obiecującą metodą obróbki wstępnej w przemyśle spożywczym [Hsu i in. 2014, Ozuna i in. 2014, Śledź i in. 2014].

W technologii żywności stosowane są ultradźwięki o różnym natężeniu fali akustycznej. Fale o natężeniu poniżej $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ wykorzystywane są do analizy składu i właściwości żywności. Ultradźwięki o natężeniu $1\text{--}1000 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ stosowane są do modyfikacji właściwości fizycznych tkanki roślinnej oraz przyspieszania reakcji chemicznych, a obecnie trwają badania nad ich wykorzystaniem do wspomagania procesów technologicznych, między innymi suszenia, zamrażania, krystalizacji i ekstrakcji [Dolatowski i in. 2007, Carcel i in. 2012].

W ciałach stałych ultradźwięki powodują powstawanie mikroskopijnych kanałów, ułatwiających usuwanie wody z wnętrza materiału. Zjawisko to wywołane jest serią szybkich kompresji i dekompresji tkanki. Fale ultradźwiękowe prowadzą również do formowania pęcherzyków gazowych w ośrodkach ciekłych, które implodując, powodują nagły wzrost temperatury i ciśnienia, co niszczy komórki i przyspiesza dyfuzję wody podczas suszenia [Carcel i in. 2012, Wiktor i in. 2014].

Efekt działania fal ultradźwiękowych uzależniony jest od parametrów obróbki wstępnej, takich jak częstotliwość, natężenie i czas aplikacji, oraz od właściwości surowca i medium [Carcel i in. 2012]. Aplikacja ultradźwięków umożliwia poprawę jakości końcowego produktu, między innymi przez częściowe zachowanie termolabilnych składników żywności, co związane jest ze skróceniem czasu suszenia i możliwością zastosowania niższej temperatury w procesie usuwania wody [Nowacka i in. 2012].

Celem pracy było określenie wpływu oddziaływania ultradźwięków na energochłonność i przebieg procesu suszenia oraz właściwości suszonej tkanki buraka ćwikłowego, tj. barwę i zawartość barwników betalainowych.

MATERIAŁ I METODY

Buraki ćwikłowe odmiany 'Boro F1', pochodzące z lokalnego rynku, do momentu wykonania eksperymentów przechowywano w temperaturze od 5 do 8°C. Materiał krojono w plastry o średnicy 30 mm i grubości 5 mm, a następnie poddano działaniu ultradźwięków (US) o częstotliwości 35 kHz przy natężeniu $4 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (IS-3, InterSonic, Olsztyn, Polska) przez 10 oraz 30 minut lub blanszowano w wodzie o temperaturze 90°C przez 3 minuty. Obróbka wstępna odbywała się w wodzie destylowanej przy stosunku medium do surowca wynoszącym 4 : 1.

Zawartość suchej substancji oznaczono metodą suszarkową zgodnie z normą PN-90/A-75101/03 w materiale surowym, blanszowanym oraz poddanym działaniu ultradźwięków.

Po każdej obróbce wstępnej plastry buraka odsączano i umieszczano w suszarce laboratoryjnej (KIŻiOP, Warszawa, Polska). Suszenie konwekcyjne prowadzono w temperaturze 70°C przy przepływie powietrza równoległym do warstwy materiału z prędkością równą 1,5 m·s⁻¹. Obciążenie sita wynosiło 0,25 kg (2,15 kg·m⁻²). Proces kończono w momencie uzyskania stałej masy materiału, utrzymującej się przez 10 minut. Zmiany masy mierzono co 1 minutę, używając zewnętrznej wagi analitycznej (Axis A5000, Radwag, Radom, Polska) i rejestrowano za pomocą programu komputerowego „Pomiar” (Radwag, Radom, Polska). Czas suszenia analizowano do uzyskania przez materiał zawartości wody 0,2 kg H₂O·(kg s.s.)⁻¹. Proces suszenia wykonano w dwóch powtórzeniach. Krzywe suszenia opracowano w postaci zależności zredukowanej zawartości wody (*MR*) od czasu suszenia. Zredukowaną zawartość wody obliczono zgodnie ze wzorem [Midilli i in. 2002]:

$$MR = \frac{u}{u_0}$$

gdzie: *u* – zawartość wody w czasie suszenia [kg H₂O·(kg s.s.)⁻¹],

*u*₀ – początkowa zawartość wody [kg H₂O·(kg s.s.)⁻¹].

Nakłady energetyczne mierzono w trakcie obróbki wstępnej ultradźwiękami (Energy Logger 4000F, Voltcraft, Niemcy) oraz podczas procesu suszenia (Miernik R-box 460R-17, Pawbol Sp. z o.o., Sułkowice).

Barwę surowca oraz suszu oznaczono w systemie CIE L*a*b* za pomocą chromametry CM-5 (Konica Minolta, Japonia) z oświetleniem rozproszonym (kąt pomiaru 8°, obserwator standardowy CIE 2°). Pomiar barwy każdej próbki wykonano w 15 powtórzeniach.

Zawartość barwników betalainowych w tkance surowej i suszonej oznaczono metodą chemiczną według Nilssona [1970], która opiera się na ekstrakcji barwników przy użyciu buforu fosforanowego o pH 6,5 oraz spektrofotometrycznym pomiarze absorbancji przy długościach fali 476, 538 oraz 600 nm. Zawartość czerwonych barwników określono w mg betaniny w 100 g suchej substancji, a barwników żółtych w mg wulgaksantyny w 100 g suchej substancji. Oznaczenie wykonano trzykrotnie.

Oprogramowanie Microsoft Office Excel 2010 zostało wykorzystane do opracowania matematycznego (obliczenie zawartości barwników betalainowych, wyznaczenie zredukowanej zawartości wody), statystycznego (obliczenie wartości średnich oraz odchylenia standardowego) i graficznego (wyznaczenie krzywych suszenia) otrzymanych wyników.

Analiza statystyczna została wykonana za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) w programie Statgraphics Plus 5.1. Jednorodność wariancji sprawdzono za pomocą testu Levene'a. Stosując test Duncana (przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$), wyznaczono grupy homogeniczne, statystycznie nieróżniące się. W przypadku niejednorodności wariancji lub rozkładu odmiennego od normalnego, grupy jednorodne wyznaczono za pomocą testu Kruskala-Wallisa (test porównań wielokrotnych) w programie Statistica 10 ($\alpha = 0,05$).

WYNIKI I DYSKUSJA

Surowy burak ćwikłowy odmiany 'Boro F1' charakteryzował się początkową zawartością suchej substancji równą $14,29 \pm 0,10\%$. Zastosowanie obróbki wstępnej wpłynęło na istotne zmniejszenie zawartości suchej substancji (tab. 1), co potwierdziła analiza statystyczna (test Duncana). Największe straty odnotowano w przypadku tkanki poddanej przez 30 minut działaniu ultradźwięków. Zmniejszenie procentowej zawartości suchej substancji wywołane było wystąpieniem dwóch przeciwnie skierowanych procesów, tj. wnikaniem wody do materiału oraz ekstrakcją rozpuszczalnych składników suchej substancji do otaczającego medium.

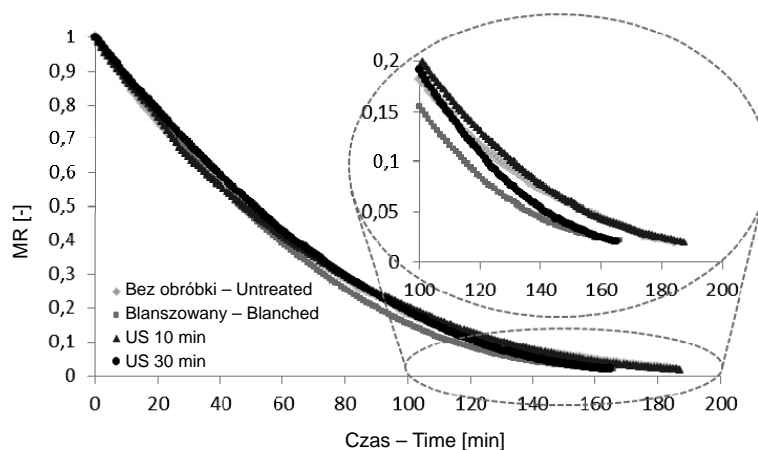
Tabela 1. Zawartość suchej substancji w burakach poddanych i niepoddanych obróbce wstępnej

Table 1. Dry matter content in untreated and pre-treated beetroot

Rodzaj obróbki wstępnej Type of pre-treatment	Zawartość suchej substancji Dry matter content [%]
Bez obróbki – Untreated	$14,29 \pm 0,10^c$
Blanszowany – Blanched	$12,78 \pm 0,10^b$
US 10 min	$12,98 \pm 0,06^b$
US 30 min	$11,97 \pm 0,22^a$

^{a-c} – grupy homogeniczne / homogenous groups.

Analiza przebiegu suszenia tkanki buraka ćwikłowego wykazała, że materiał poddany zabiegom wstępnym suszył się krócej w porównaniu z materiałem bez obróbki wstępnej (rys. 1). Tkanka buraka ćwikłowego niepoddanego zabiegom wstępnym została wysuszona do zawartości wody $0,2 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot (\text{kg s.s.})^{-1}$ w czasie 178 ± 6 minut. W przypadku materiału blanszowanego oraz poddanego działaniu ultradźwięków przez 10 i 30 minut



Rys. 1. Względna zawartość wody (MR) w trakcie suszenia buraka ćwikłowego niepoddanego i poddanego obróbce wstępnej

Fig. 1. Dimensionless moisture content (MR) during drying of untreated and pre-treated beetroot

uzyskano czas suszenia odpowiednio 168 ± 5 , 180 ± 7 oraz 169 ± 4 minuty. Najkrótszy czas procesu, zredukowany o 6 i 5% uzyskano odpowiednio w przypadku materiału blanszowanego i poddanego działaniu ultradźwięków przez 30 minut, przy czym analiza statystyczna (test Duncana) nie wykazała istotnych różnic w porównaniu z czasem suszenia tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym. Redukcję czasu suszenia materiału poddanego działaniu fali ultradźwiękowych przez 30 minut zaobserwowano również w przypadku banana (6%) [Fernandes i in. 2007], melona (28%) [Fernandes i in. 2008b] oraz jabłka (40%) [Nowacka i in. 2012].

Analizując dane zawarte na rysunku 1, można zaobserwować zwiększenie szybkości suszenia po około 70 minutach trwania procesu w przypadku tkanki blanszowanej oraz po około 130 minutach suszenia materiału potraktowanego ultradźwiękami przez 30 minut w odniesieniu do szybkości suszenia buraka ćwikłowego bez obróbki wstępnej.

Skrócenie czasu suszenia wiązało się ze zmniejszeniem nakładów energetycznych potrzebnych do wysuszenia tkanki buraka ćwikłowego (tab. 2). Zużycie energii było niższe o 10,5 i 10,8% odpowiednio w przypadku tkanki blanszowanej i potraktowanej ultradźwiękami przez 30 minut, w odniesieniu do materiału niepoddanego zabiegom wstępnym, przy czym różnice te nie były istotne statystycznie (test Duncana). Nakłady energetyczne na aplikację ultradźwięków były natomiast nieznaczne i wynosiły od 0,009 do 0,020 kWh.

Tabela 2. Zużycie energii podczas procesu suszenia i obróbki wstępnej

Table 2. Energy consumption during ultrasound pre-treatment and drying

Rodzaj obróbki wstępnej Type of pre-treatment	Zużycie energii Energy consumption [kWh]	
	Suszenie Drying	Obróbka wstępna Pre-treatment
Bez obróbki – Untreated	12,55 \pm 0,03 ^a	–
Blanszowany – Blanched	11,24 \pm 0,54 ^a	nie mierzono – not measured
US 10 min	12,58 \pm 0,51 ^a	0,009
US 30 min	11,19 \pm 0,28 ^a	0,020

^a – grupy homogeniczne / homogenous groups.

Suszenie konwekcyjne spowodowało zmiany barwy buraka ćwikłowego (tab. 3). Surowy materiał, charakteryzujący się wartością parametru L^* równą $20,3 \pm 0,7$, uległ po procesie suszenia rozjaśnieniu o 17% i różnica ta była istotna statystycznie (test Kruskala-Wallis). Rozbieżności w barwie surowej tkanki i suszu mogą wynikać z jednej strony z degradacji barwników w czasie suszenia, z drugiej zaś z różnic w strukturze powierzchni tkanek surowej i suszonej. Surowy materiał zawiera dużo wody, susz natomiast charakteryzuje się porowatą powierzchnią, przez co światło odbija się inaczej od badanej powierzchni [Rząca i Witrowa-Rajchert 2007].

Zastosowanie obróbki wstępnej przed procesem suszenia spowodowało zmiany jasności suszu. Parametr barwy L^* suszonej tkanki blanszowanej nie różnił się istotnie w stosunku do materiału niepoddanego zabiegom wstępnym i suszonego. Statystycznie

istotne różnice zaobserwowano w przypadku buraka poddanego działaniu ultradźwięków, niezależnie od czasu ich działania. Jasność suszu wzrosła o 50% w porównaniu z suszem niepoddanym obróbce wstępnej. Zmiany wartości parametrów barwy mogły być również spowodowane wypłukiwaniem rozpuszczalnych składników suchej substancji do medium, w którym przeprowadzona została obróbka wstępna (tab. 1).

Wartości współrzędnej chromatycznej a^* surowej i suszonej tkanki buraka nie różniły się istotnie (tab. 3). Znaczące zmiany w stosunku do suszu buraczanego niepoddanego zabiegom wstępnym zaobserwowano po zastosowaniu obróbki wstępnej (test Duncana). Najmniejszym udziałem barwy czerwonej, niższym o 36–45%, charakteryzowały się susze poddane działaniu ultradźwięków.

Tabela 3. Barwa buraka surowego oraz suszu niepoddanego i poddanego obróbce wstępnej

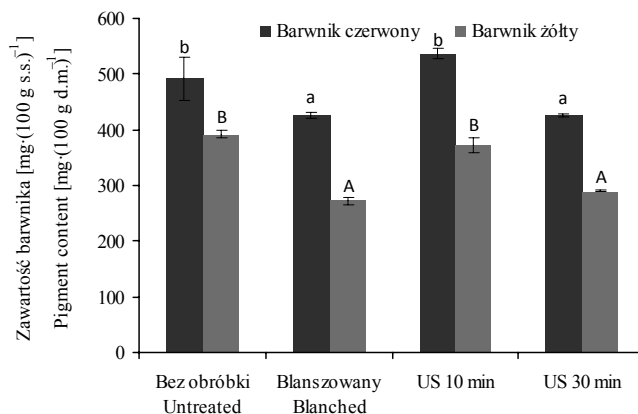
Table 3. The colour of raw and dried untreated and pre-treated beetroot

Rodzaj obróbki wstępnej Type of pre-treatment	L^*	a^*	b^*
Surowy – Raw	20,3 ±0,7 ^a	21,0 ±3,3 ^c	5,6 ±1,2 ^d
Bez obróbki – Untreated	23,8 ±2,5 ^b	21,9 ±2,4 ^c	2,5 ±0,8 ^c
Błanszowany – Blanched	22,5 ±2,1 ^{ab}	16,7 ±2,3 ^b	0,3 ±0,7 ^a
US 10 min	35,2 ±4,1 ^c	14,0 ±2,6 ^a	0,6 ±0,8 ^a
US 30 min	35,8 ±3,1 ^c	12,1 ±3,2 ^a	1,3 ±0,8 ^b

^{a-d} – grupy homogeniczne / homogenous groups.

W przypadku współrzędnej b^* odnotowano istotne zmniejszenie udziału barwy żółtej po procesie suszenia (test Duncana). Wartość b^* suszu surowego buraka zmniejszyła się o 55% w porównaniu z odpowiednią wartością surowej tkanki (tab. 3). Susze buraczane poddane obróbce wstępnej znacząco różniły się w stosunku do materiału bez zabiegów wstępnych. Najniższą wartość współrzędnej chromatycznej b^* odnotowano w przypadku tkanki błanszowanej oraz poddanej sonikacji przez 10 minut.

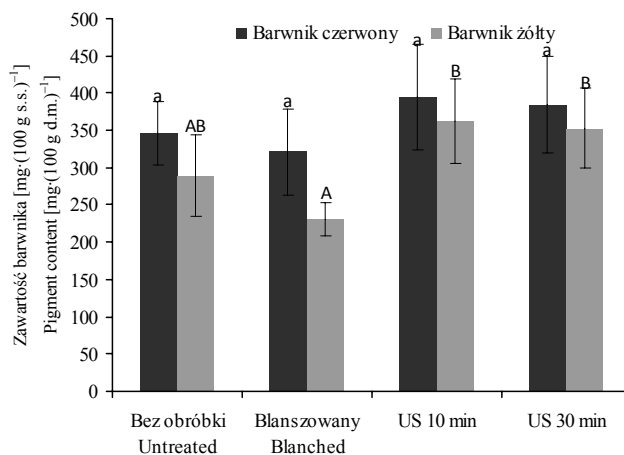
Surowy burak ćwikłowy charakteryzował się zawartością barwnika czerwonego i żółtego wynoszącą odpowiednio 492,0 ±38,1 mg betaniny·(100 g s.s.)⁻¹ i 392,0 ±7,2 mg wulgaksantyny·(100 g s.s.)⁻¹. Rozpuszczalność barwników betalainowych w wodzie podczas obróbki wstępnej oraz ich degradacja termiczna w procesie suszenia powodowały zmniejszenie ilości wyekstrahowanych barwników. W trakcie obróbki wstępnej, gdy surowiec zanurzono w wodzie podczas aplikacji ultradźwięków lub błanszowania, widoczny był ubytek rozpuszczalnych w wodzie składników suchej substancji (tab. 1), w tym barwników betalainowych. Zastosowanie błanszowania wpłynęło na istotne obniżenie zawartości betalain (test Duncana) w porównaniu z ich zawartością w surowej tkance niepoddanej zabiegom wstępnym (rys. 2), co mogło być spowodowane wysoką temperaturą podczas tej obróbki. Statystycznie istotnie niższą zawartość barwników betalainowych uzyskano również w przypadku tkanki potraktowanej przez 30 minut ultradźwiękami. Najwyższą zawartość barwnika czerwonego oznaczono w tkance buraka poddanej działaniu ultradźwięków przez 10 minut, ale analiza statystyczna nie wykazała znaczących różnic w stosunku do jego zawartości w materiale bez obróbki wstępnej.



Rys. 2. Zawartość betalain w buraku surowym niepoddanym i poddanym obróbce wstępnej (a–b – grupy homogeniczne – barwnik czerwony; A–B – grupy homogeniczne – barwnik żółty)

Fig. 2. The betalains content in untreated and pre-treated raw beetroot (a–b – homogenous groups – red pigment; A–B – homogenous groups – yellow pigment)

W wyniku suszenia konwekcyjnego tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym zawartość betalain uległa zmniejszeniu, w odniesieniu do surowej tkanki buraka, o 29,6 i 26,2% w przypadku barwnika odpowiednio czerwonego i żółtego (rys. 2 i 3). Analiza statystyczna (test Duncana) wykazała brak wpływu działania ultradźwięków oraz blanszowania na zawartość barwnika czerwonego w suszach buraczanych. W przypadku barwnika żółtego również nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic (test Kruskala-Wallisa) jego zawartości w suszach poddanych obróbce wstępnej.



Rys. 3. Zawartość betalain w suszu buraczanym niepoddanym i poddanym obróbce wstępnej (a – grupy homogeniczne dla barwnika czerwonego; A–B – grupy homogeniczne dla barwnika żółtego)

Fig. 3. The betalains content in untreated and pre-treated dried beetroot (a – homogenous groups for red pigment; A–B – homogenous groups for yellow pigment)

Wnikanie barwników do medium w trakcie obróbki wstępnej (tab. 1, rys. 2), a także zwiększenie jasności suszu oraz zmniejszenie udziału barwy czerwonej i żółtej po zastosowaniu ultradźwięków (tab. 3) wskazują, że procesy wstępne powodują ubytek zawartości barwników betalainowych w buraku ćwikłowym. Pomimo istotnego ubytku barwników podczas obróbki ultradźwiękami, susze wstępnie potraktowane ultradźwiękami charakteryzowały się zawartością betalain nieróżniącą się statystycznie od zawartości tych związków w suszach niepoddanych obróbce wstępnej. Wyniki te potwierdzają, że działanie ultradźwięków ułatwia ekstrakcję barwników z tkanki buraka ćwikłowego i może świadczyć o ich większej biodostępności.

WNIOSKI

1. Aplikacja ultradźwięków przez 30 minut oraz blanszowanie skróciły czas suszenia buraka ćwikłowego w stosunku do materiału niepoddanego zabiegom wstępnym odpowiednio o 5 i 6%, co doprowadziło do zmniejszenia zużycia energii w trakcie procesu suszenia odpowiednio o 10,8 i 10,5%. Skrócenie czasu suszenia materiału wstępnie blanszowanego i poddanego działaniu ultradźwięków przez 30 minut wynikało ze znaczącego zwiększenia szybkości suszenia odpowiednio po około 70 i 130 minutach trwania procesu usuwania wody.

2. Zjawiska występujące podczas działania ultradźwięków spowodowały istotne zmiany barwy suszy, zwiększając jasność plastrów buraka oraz zmniejszając udział barwy czerwonej i żółtej.

3. W tkance świeżej potraktowanej ultradźwiękami przez 30 minut oraz blanszowanej uzyskano istotnie niższą zawartość betalain, spowodowaną wypłukiwaniem barwników podczas obróbki wstępnej.

4. Mimo istotnego ubytku barwników podczas obróbki ultradźwiękami, uzyskanie nieróżniących się statystycznie zawartości betalain w suszach wstępnie potraktowanych ultradźwiękami oraz niepoddanych obróbce wstępnej potwierdza, że działanie ultradźwięków ułatwia ekstrakcję barwników z tkanki buraka ćwikłowego i może świadczyć o ich większej biodostępności.

LITERATURA

- Azoubel P.M., Baima M.A.M., Amorim M.R., Oliveira S.S.B., 2010. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *J. Food Eng.* 97, 2, 194–198.
- Carcel J.A., Garcia-Perez J.V., Benedito J., Mulet A., 2012. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *J. Food Eng.* 110, 200–207.
- Chemat F., Huma Z., Khan M.K., 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason Sonochem* 18, 4, 813–835.
- Dolatowski Z.J., Stadnik J., Stasiak D., 2007. Applications of ultrasound in food technology, *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 6, 3, 89–99.
- Fernandes F.A.N., Rodriguez S., 2007. Ultrasound as a pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. *J. Food Eng.* 82, 2, 261–267.

- Fernandes F.A.N., Oliveira F.I.P., Rodrigues S., 2008a. Use of ultrasound for dehydration of papaya. *Food Bioprocess Tech.* 1, 4, 339–345.
- Fernandes F.A.N., Gallao M.I., Rodrigues S., 2008b. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-Food Sci. Technol.* 41, 604–610.
- Hsu H.Y., Sheen S., Sites J., Huang L., Wu J.S.-B., 2014. Effect of high pressure treatment on the survival of Shiga toxin-producing *E. coli* in strawberry pure. *Food Microbiol.* 40, 25–30.
- Midilli A., Kucuk H., Yapar Z., 2002. A new model for single layer drying. *Drying Technology* 20, 7, 1503–1513.
- Nilsson T., 1970. Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.). *Lantbrukshogskolans Annaler* 36, 179–197.
- Nowacka M., Wiktor A., Śledź M., Jurek N., Witrowa-Rajchert D., 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *J. Food Eng.* 113, 3, 427–433.
- Ozuna C., Álvarez-Arenas T.G., Riera E., Cárcel J.A., Garcia-Perez J.V., 2014. Influence of material structure on air-borne ultrasonic application in drying. *Ultrason Sonochem* 21, 1235–1243.
- Rząca M., Witrowa-Rajchert D., 2007. Wpływ parametrów suszenia konwekcyjno-mikrofalowego na barwę jabłek. *Acta Agrophysica* 10, 2, 445–454.
- Śledź M., Nowak P., Witrowa-Rajchert D., 2014. Drying of parsley leaves pre-treated by ultrasound. *ZPPNR* 579, 91–99.
- Wiktor A., Rybak K., Śledź M., Nowacka M., Gondek E., Chudoba T., Łojkowski W., Witrowa-Rajchert D., 2014. Wpływ sonikacji immersyjnej i kontaktowej oraz pulsacyjnego pola elektrycznego na przewodność elektryczną tkanki marchwi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 579, 101–110.

THE INFLUENCE OF ULTRASOUND PRE-TREATMENT ON DRYING KINETICS AND THE COLOUR AND BETALAINS CONTENT IN BEETROOT

Summary. The aim of this study was to evaluate the impact of ultrasound pre-treatment and blanching on drying kinetics of beetroot. Energy consumption during pre-treatment and drying, dry matter content, colour and betalains pigments content were examined as well. Beetroot slices were blanched for 3 minutes in water at temperature 90°C or treated with ultrasound with frequency of 35 kHz for 10 and 30 minutes and then dried by convection at 70°C with air velocity of 1.5 m·s⁻¹. The air flow was parallel to the layer of samples. The colour was measured using chromameter CM-5 and recorded with a CIE L*a*b* uniform colour space. The betalains content was examined with chemical method based on pigments extraction (using phosphate buffer with pH 6.5) and spectrophotometric measurement. Achieved results showed that pre-treatment significantly influenced on loss of dry matter in fresh beetroot tissue due to the loss of soluble dry matter compounds and water penetration to the interior of the material. Ultrasound waves applied for 30 minutes and blanching affected reduction of drying time by 5–6% in relation to untreated tissue, what led to decrease of energy consumption by 10.5–10.8% during drying. The use of ultrasound caused significant changes in the colour of dried beetroot. The lightness increased from 23.8 ±2.5 to 35.2 ±4.1 and 35.8 ±3.1 for dried beetroot pre-treated with ultrasound for 10 and 30 minutes, respectively. The decrease of the red and yellow colour participation was observed as well. In relation to untreated dried samples, the a* and b* parameter value was lower by 36 and 76%, respectively, in the case of material treated with ultrasound for

10 minutes and 45 and 48%, respectively, for beetroot treated with ultrasound for 30 minutes. Significantly lower value of the betalains content for fresh beetroot treated with ultrasound for 30 minutes and blanched was noticed. Convective drying of raw beetroot caused reduction of betalains content by 29.6 and 26.2% for red and yellow pigment in relation to untreated fresh beetroot, respectively. Despite the substantial loss of betalains during pre-treatment, there were no changes between pre-treated and untreated dried samples, what show that ultrasound facilitates pigments extraction from beetroot tissue and may indicate greater bioavailability of betalains.

Key words: drying, energy consumption, blanching, ultrasound, colour, betalains