

JAN PIECKO, MONIKA MIESZCZAKOWSKA-FRĄC,  
JUSTYNA SZWEJA-GRZYBOWSKA, KAROLINA CELEJEWSKA

## WPLYW RODZAJU HOMOGENIZACJI NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE I ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW BIOAKTYWNYCH W MĘTNYM SOKU Z TRUSKAWEK

### Streszczenie

**Wprowadzenie.** Zmętnienie jest istotnym parametrem jakościowym soków owocowych. Sedymentacja cząstek miąższu zawieszonych w soku może powodować negatywną oceną jakości produktu przez konsumentów. W związku z tym stabilizacja zmętnienia stanowi wyzwanie dla producentów soków. W pracy tej wykorzystano dwa rodzaje homogenizacji w celu eliminacji zjawiska rozwarstwiania się soku. Do badań wykorzystano mętny sok z owoców truskawek odmiany „Grandarosa”. Homogenizację wysokociśnieniową przeprowadzono przy pomocy homogenizatora Atomo 3.0 przy wartościach ciśnień 200 i 600 barów. Homogenizację ultradźwiękową przeprowadzono sonikatorem Sonics VCX 750 stosując moc 750W, przez 2 i 8 minut. W próbach soku analizowano rozkład wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej, lepkość, stabilność zmętnienia, zawartość antocyjanów ogółem, związków fenolowych oraz zawartość kwasu askorbinowego.

**Wyniki i wnioski.** W przypadku homogenizacji ultradźwiękowej około 70 % obecnych w soku cząstek miało średnicę poniżej 25  $\mu\text{m}$ , podczas gdy w soku niehomogenizowanym frakcja cząstek o średnicy poniżej 25  $\mu\text{m}$  stanowiła 25 %. Homogenizacja wysokociśnieniowa, niezależnie od stosowanego ciśnienia, miała wyższą skuteczność rozbijania cząstek zmętnienia od homogenizacji ultradźwiękowej (około 90 % cząstek miało wielkość poniżej 25  $\mu\text{m}$ ). Homogenizacja przy ciśnieniu 200 barów spowodowała wzrost lepkości soku o 135 % (do 6,5 mPa·s) w porównaniu z sokiem niehomogenizowanym. Najwyższym poziomem zmętnienia charakteryzował się sok homogenizowany ultradźwiękowo przez 8 minut, którego zmętnienie wynosiło 2<sup>110</sup> NTU. Średnia zawartość antocyjanów ogółem (6,0 mg/100 ml) oraz kwasu askorbinowego (16,8 mg/100 cm<sup>3</sup>) w soku truskawkowym nie uległa istotnej statystycznie zmianie niezależnie od rodzaju homogenizacji. Homogenizacja wysokociśnieniowa i ultradźwiękowa charakteryzują się wysoką skutecznością zmniejszania wielkości cząstek miąższu w soku z truskawek, przy czym żadna z nich nie powoduje istotnej degradacji antocyjanów i kwasu askorbinowego.

**Słowa kluczowe:** homogenizacja wysokociśnieniowa, homogenizacja ultradźwiękowa, rozmiar cząstek, zmętnienie, soki owocowe

---

*Mgr inż. J. Piecko, ORCID: 0000-0001-6838-9364; dr hab., prof. IO M. Mieszczakowska-Frąc ORCID: 0000-0001-8786-7990; dr J. Szejda-Grzybowska ORCID: 0000-0002-1260-5897; dr inż. K Celejewska ORCID: 0000-0003-3113-3722, Zakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Owoców i Warzyw, Instytut Ogrodnictwa - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice.  
Kontakt e-mail: jan.piecko@inhort.pl*

## Wprowadzenie

Pozytywny wpływ spożycia owoców i ich przetworów na zdrowie, a w szczególności owoców jagodowych jest przedmiotem wielu badań naukowych. Wykazano związek ich spożywania ze zdrowiem człowieka m.in. poprzez zapobieganie występowania chorób przewlekłych [20]. Do przetworów owocowych należą m.in. soki. Dostępne produkty z tej kategorii to głównie soki klarowne oraz soki mętne. Produkcja soku klarownego uwzględnia proces klarowania, który wykonuje się po enzymatycznej hydrolizie pektyn. Polega on na usunięciu nierozpuszczalnych substancji stałych, których cząstki tworzą zawiesinę. Jak wykazano, zmętnienie to przede wszystkim cząstki ścian komórkowych, blaszki środkowej i błon komórkowych pochodzące z rozdrobnionych tkanek surowca, a więc są to głównie polisacharydy oraz niewielkie ilości białek, lipidów oraz związków polifenolowych [29, 33]. Natomiast sok mętny to produkt poddany procesowi pasteryzacji bezpośrednio po wytlóczeniu poprzedzonej jedynie filtracją usuwającą większe fragmenty miąższu. Do spożycia szczególnie polecane są soki mętne, jednakże badania nad wpływem spożycia soków jabłkowych mętnych i klarownych wskazują, że oba mają pozytywny wpływ na markery związane z chorobami układu krążenia, rakiem oraz chorobami neurodegeneracyjnymi [33]. Jednakże wykazano również, że klarowny sok jabłkowy ma niższą wartość prozdrowotną ponieważ zawiera mniejszą ilość błonnika, związków polifenolowych i innych składników odżywczych niż klarowny sok jabłkowy [29]. Chociaż współczesna dietetyka podkreśla, że jedzenie całych owoców ma wyższe wartości prozdrowotne niż przyjmowanie soków [2], to sok jest formą pokarmu łatwiejszą do spożycia. Dzięki temu można zwiększyć częstotliwość spożywania owoców i poprawić ogólną ich ilość w diecie. Przykładem jest sok z owoców granatu, który wykazuje silne działanie przeciwmiażdżycowe, przeciwnadciśnieniowe, przeciwutleniające oraz przeciwzapalne [31], jednak spożycie owoców w postaci nieprzetworzonej wymaga obrania ich z niejadalnych części. W badaniach dotyczących wpływu spożycia soków jagodowych na stan zdrowia ludzi również potwierdzono ich pozytywny wpływ [10]. Wykazano, że codzienne spożycie soku winogronowego przez okres 2 miesięcy może być skutecznym sposobem na dostarczanie przeciwutleniaczy, zmniejszających uszkodzenia DNA limfocytów w krwi [22]. Wysoki potencjał przeciwutleniający winogrona o ciemnym zabarwieniu skórki zawdzięczają m.in. związkom fenolowym, a w szczególności: antocyjanom i flawanolem [18]. W innym przypadku wykazano, że dzięki wysokiej zawartości kwasu askorbinowego w soku z żurawiny jego spożycie zwiększa aktywność przeciwutleniającą osocza krwi [24].

Truskawki są jednymi z najpopularniejszych owoców jagodowych na świecie. Dostępność tych owoców przez cały rok, zarówno jako produktu świeżego, jak i mrożonego, sprawia, że stanowią istotne źródło witamin, minerałów i związków polifenolowych w diecie. Badania epidemiologiczne i kliniczne udowodniły pozytywne efekty

zdrowotne spożycia truskawek, wskazując szczególnie na właściwości przeciwutleniające, przeciwwzapalne i przeciwnadciśnieniowe [15]. Również sok z tych owoców jest godnym zainteresowania źródłem związków prozdrowotnych. Wykazano na przykład, że bogaty w antocyjany sok z truskawek jest skuteczny w hamowaniu mutagenezy [28], czyli procesu polegającego na powstawaniu mutacji DNA. Obok ważnego aspektu jakim jest atrakcyjność wizualna produktu, należy zauważyć, że mętny sok z truskawek charakteryzuje się wyższą zawartością związków fenolowych [9]. Wykazano również, że obecność zmętnienia może mieć pozytywny wpływ na stabilność antocyjanów zawartych w soku truskawkowym [21], w związku z czym stabilizacja zmętnienia ma również istotny wpływ na jakość przechowalniczą soku.

Homogenizacja w przemyśle sokowniczym przeprowadzana jest w celu zmniejszenia średniej wielkości cząstek, co prowadzi do zwiększenia stabilności nierozpuszczalnych składników soku. Wykorzystując różne metody homogenizacji, z powodzeniem można uzyskać sok mętny nieulegający sedymentacji. Technologia homogenizacji wysokociśnieniowej polega na pompowaniu płynu (np. soku owocowego) przez wąską szczelinę (zawór homogenizacyjny) pod wysokim ciśnieniem. Nagłe obniżenie ciśnienia po przekroczeniu szczeliny powoduje wzrost prędkości płynu i w konsekwencji dochodzi do zjawiska kawitacji, a cząstki narażone są na wysokie naprężenia mechaniczne, w wyniku których dochodzi do ich destrukcji. Zdolność tej metody homogenizacji do inaktywacji mikroorganizmów, poprawy właściwości reologicznych oraz do ograniczenia degradacji związków wrażliwych na temperaturę w żywności jest dobrze poznana i opisana w literaturze [17].

Metoda ta znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle, szczególnie w sektorze napojów i soków oraz stosowana w celu homogenizacji i poprawienia właściwości reologicznych. Konieczność stosowania układów aseptycznych jest głównym czynnikiem ograniczającym implementację jako alternatywnej metody utrwalania produktów spożywczych [23]. W przypadku ultradźwięków istnieje wiele potencjalnych zastosowań, m.in.: usprawnianie zamrażania i filtracji, przyspieszanie suszenia, wytrawiania, odgazowywanie, emulgowanie [5, 30]. Główną zaletą stosowania technologii opartej na ultradźwiękach jest skrócenie czasu trwania procesu oraz poprawa wydajności i higieny procesu [12]. Metoda ta znajduje również zastosowanie jako narzędzie do inaktywacji mikroorganizmów i enzymów [5, 7].

Jednakże stabilność zmętnienia soku jest zjawiskiem złożonym, w którym uczestniczy wiele mechanizmów i reakcji pomiędzy pektynami, białkami oraz związkami polifenolowymi [4]. Stosowanie homogenizacji nie zawsze przynosi spodziewane rezultaty, a aktualna wiedza nie pozwala wyjaśnić wszystkich przyczyn niestabilności soków. W związku z tym poszukuje się rozwiązań technologicznych poprawiających stabilność soków.

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu rodzaju homogenizacji na rozkład wielkości cząstek miąższu, zmętnienie i zawartość związków bioaktywnych w sokach z truskawek. W pracy porównano wybrane parametry jakościowe soków homogenizowanych ultradźwiękowo bądź wysokociśnieniowo oraz soku niehomogenizowanego.

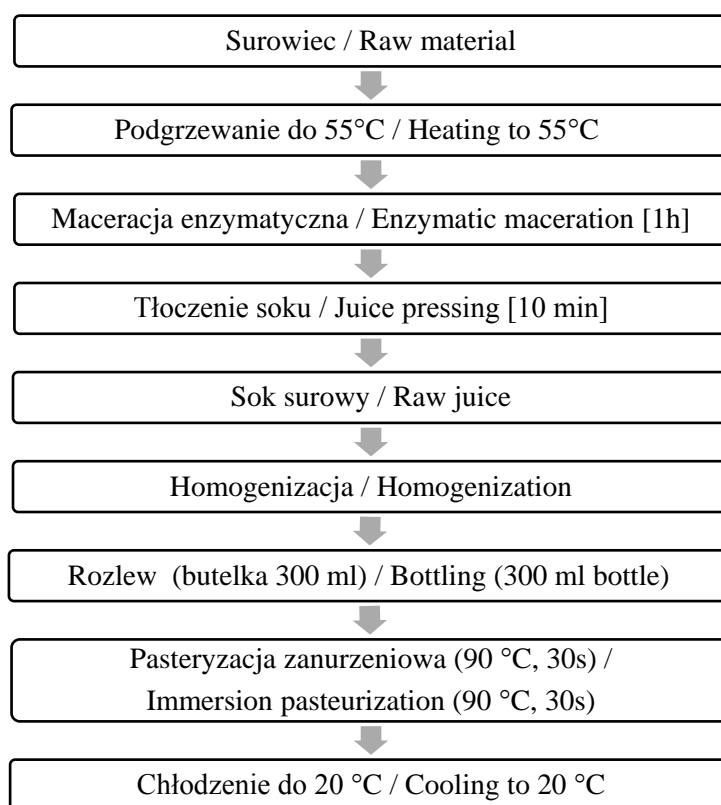
Przeprowadzone badania pozwalają poszerzyć wiedzę w zakresie możliwości produkcji soków mętnych z owoców truskawki. Z tej pogłębionej wiedzy skorzystać mogą zakłady przetwórstwa owoców, ponieważ problemy ze stabilnością zmętnienia soków są nadal kwestią nierozwiązaną. Homogenizacja ultradźwiękowa jako zabieg poprawiający stabilność zmętnienia soków jest alternatywą dla innych jej rodzajów m.in. dla homogenizacji wysokociśnieniowej, od której jest zdecydowanie łatwiejsza do implementacji i tańsza w eksploatacji.

## **Materialy i metody badań**

### *Metoda uzyskania soku i procedura homogenizacji*

Do badań wykorzystano owoce truskawek odm. 'Grandarosa' zakupione bezpośrednio u producenta, z plantacji komercyjnej zlokalizowanej w centralnej Polsce. W ciągu 2 godzin od zbioru owoce przewieziono do laboratorium, gdzie przeprowadzono mycie i usuwanie szypulek. Następnie owoce rozłożono w skrzynkach i zamrożono w komorze chłodniczej o temperaturze  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Po upływie 24 godzin owoce przepakowano do szczelnych worków foliowych i przechowywano w stanie zamrożenia do dnia realizacji badań. Sok uzyskano w skali półtechnicznej metodą zaprezentowaną na schemacie (Ryc.1). Owoce po rozmrożeniu w kotle wyposażonym w płaszcz wodny, rozdrobniono na młynie Fryma (BASIS 91/55, Fryma-Maschinen AG, Rheinfelden, Niemcy), a następnie podgrzano do temperatury maceracji. Maceracje rozdrobnionych owoców prowadzono w temp  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  przez okres 1 godziny, wykorzystując preparat enzymatyczny Pectinex® Ultra Passover (Novozymes, Szwajcaria), stosując dawkę 50 g/t. Sok uzyskano wykorzystując prasę przekładkową (Vorán Maschinen GmbH, Austria), stosując siłę nacisku 235 kN przez okres 10 minut. Wytłoczony sok następnie poddano dwóm rodzajom homogenizacji i rozlano do butelek o pojemności  $250\text{ cm}^3$ . W próbie kontrolnej sok rozlano do butelek bezpośrednio po tłoczeniu. Produkt pasteryzowano zanurzeniowo, stosując 30-sekundowy okres przetrzymywania w temp.  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Następnie butelki schładzano do temperatury pokojowej. Homogenizacje wysokociśnieniową przeprowadzono przy pomocy homogenizatora Atomo 3.0 (Bertoli, Włochy), stosując ciśnienie 200 barów (HPH200) oraz 600 barów (HPH600). Homogenizację przy ciśnieniu 600 barów wykonano dwustopniowo, przy czym pierwszy zawór homogenizacyjny ustawiony został na 200 barów. Homogenizację ultradźwiękową przeprowadzono sonikatorem VCX 750 (Sonics & Materials, USA) o mocy znamionowej 750 W, generującym ultradźwięki o częstotliwość 20 kHz. Czas

zabiegu wynosił 2 minuty (UH2) lub 8 minut (UH8). Sok niehomogenizowany zastosowano jako próbę kontrolną (KONTROLA). Wykonano 2 powtórzenia technologiczne dla każdej kombinacji soku truskawkowego.



Rycina 1. Schemat technologiczny produkcji soku truskawkowego  
Figure 1. Process diagram of strawberry juice production

#### *Analiza rozkładu wielkości cząstek*

W próbach analizowano rozkład wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej (Bettersizer S3, Chiny). Czas pomiaru wynosił 30 s, wielkość cząstek została obliczona na podstawie teorii Mie. Urządzenie jest wyposażone w mieszadło zapobiegające sedymentacji cząstek poprzez cyrkulację próbki w układzie pomiarowym. Wynik analizy zaprezentowano jako rozkład procentowy przedstawiający zawartość poszczególnych frakcji cząstek, czyli ich udział objętościowy w całej próbce soku.

### *Analiza zmętnienia soku*

Mętność ( $T_0$ ) soków mierzono przy użyciu turbidymetru (Hach Company, Box 389, USA). Wyniki mętności podano w NTU (nefelometrycznych jednostkach mętności). Stabilność zmętnienia została określona po odwirowaniu przy użyciu wirówki laboratoryjnej (obroty  $4200 \times g$  przez 15 min.) i obliczeniu procentu stabilności zmętnienia zgodnie z następującym wzorem:  $T\% = T_s/T_0 \times 100$ , gdzie:  $T_s$  – mętność soku odwirowanego,  $T_0$  – początkowa mętność soku.

### *Analiza lepkości soku*

Lepkość określono za pomocą wiskozymetru Brookfield LVDVII (Brookfield Eng., Middleboro, USA) przy obrotach wrzeciona 60 obr/min. Lepkość soku wyrażono w mPa·s.

### *Analiza zawartość kwasu L-askorbinowego*

Zawartość kwasu L-askorbinowego oznaczono metodą HPLC przy użyciu systemu Agilent Technologies HPLC (seria 1200), wyposażonego w detektor diodowy (DAD). Separację zastosowano przy użyciu kolumny Supelcosil LC-18 (250 mm  $\times$  4,6 mm; 5  $\mu$ m) z kolumną wstępną i roztworem buforowym diwodorofosforanu potasu (1%  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 2,5 pH) w fazie ruchomej. Kolumna była utrzymywana w temperaturze 30 °C, a szybkość przepływu fazy ruchomej wynosiła 0,8  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Oznaczanie kwasu askorbinowego przeprowadzono przy długości fali 244 nm. Próbkę przed nastrzykiem były rozcieńczane w 6-procentowym  $\text{HPO}_3$ . Wyniki wyrażono w  $\text{mg}/100 \text{ cm}^3$  soku.

### *Analiza zawartości związków fenolowych*

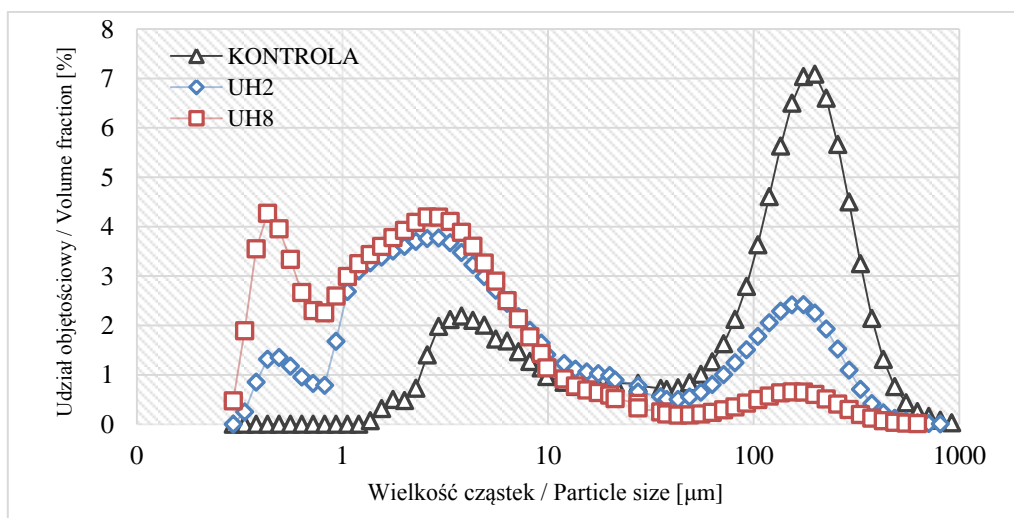
Analizę HPLC związków fenolowych przeprowadzono zgodnie z modyfikowaną metodą opisaną przez Nielsen i innych [19], przy użyciu Agilent HPLC Model HP 1200 wyposażonego w detektor diodowy (DAD). Separację przeprowadzono na kolumnie Phenomenex® Fusion RP (250  $\times$  4,6 mm; wielkość cząstek 4  $\mu$ m) przy przepływie 1  $\text{cm}^3/\text{min}$ , w temperaturze 25 °C. Polifenole w eluacie były oznaczane przy długości fali 280 nm (flawan-3-ole), 320 nm (kwasy fenolowe), 360 nm (flawonole) i 520 nm (antocyjany).

### *Analiza statystyczna wyników*

Jednoczynnikową analizę wariancji przeprowadzono przy użyciu programu STATISTICA 13 (Dell Inc., Tulsa, USA). Do porównania parametrów jakościowych soków wykorzystano test HSD Tukeya. Porównanie średnich przeprowadzono na poziomie istotności  $p < 0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

Rozkład wielkości cząstek w sokach homogenizowanych ultradźwiękowo zaprezentowano na Ryc. 2, a homogenizowanych wysokociśnieniowo – na Ryc. 3. Niezależnie od stosowanej metody homogenizacji średnia wielkość cząstek zawieszonych w soku uległa znacznemu zmniejszeniu. W przypadku soku niehomogenizowanego 27,7 % wykrytych cząstek posiadało rozmiar w zakresie poniżej 25  $\mu\text{m}$ , podczas gdy dla soków homogenizowanych wysokociśnieniowo udział cząstek miąższu o wielkości poniżej 25  $\mu\text{m}$  wynosił 88,5 %, a dla soków homogenizowanych ultradźwiękowo – 74,7 %. Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane przez innych autorów, stwierdzające, że mętny sok to zawiesina cząstek o rozmiarach od 0,25 do 5  $\mu\text{m}$  w przypadku soku jabłkowego [14], a 0,5 ÷ 2  $\mu\text{m}$  w soku pomarańczowym<sup>4</sup>, przeanalizowano jaki procent cząstek w badanych sokach mieściło się w zakresie 0,25 ÷ 5  $\mu\text{m}$ . Dla soku niehomogenizowanego jedynie 13,9 % cząstek mieściła się w tym zakresie, podczas gdy w soku UH2 – 50,3 %, UH8 – 53,4 %, HPH200 – 66,7 % i HPH600 – 84,2 %. Zaobserwowano również różnice w rozkładzie cząstek w zależności od czasu trwania homogenizacji ultradźwiękowej oraz wykorzystanego ciśnienia. Sok UH8 posiadał dużą frakcję cząstek o wielkości w zakresie 0,2 ÷ 1  $\mu\text{m}$  wynoszącą 30,3 % wszystkich wykrytych cząstek, podczas gdy sok UH2

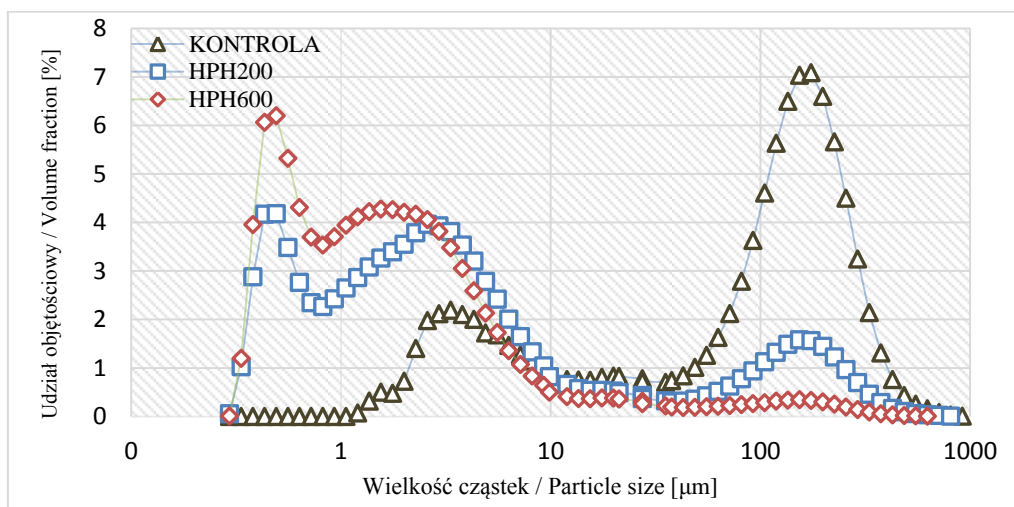


Rycina 2. Rozkład wielkości cząstek w soku z truskawek homogenizowanym metodą ultradźwiękową (KONTROLA- sok niehomogenizowany, UH2 – sok homogenizowany 2 minuty; UH8 - sok homogenizowany 8 minut)

Figure 2. Particle size distribution in ultrasonically homogenized strawberry juice (KONTROLA - un-homogenized juice, UH2 - homogenized juice 2 minutes; UH8 - homogenized juice 8 minutes)

posiadał 11,9 % cząstek w tym zakresie. Podobną różnicę stwierdzono w przypadku soków HPH200 i HPH600, dla których zawartość cząstek w tym zakresie wynosiła odpowiednio: 28,3 % oraz 41,9 %.

Obydwie metody homogenizacji miały zatem pozytywny wpływ na rozkład wielkości cząstek w soku przez zmniejszenie ich wielkości. Zastosowanie ultradźwięków przez 2 minuty lub homogenizacji przy ciśnieniu 200 barów wystarczyło aby zapewnić ograniczenie rozmiarów cząstek w soku. Podobny efekt uzyskano w przypadku soków z owoców cytrusowych homogenizowanych w ciśnieniu od 50 do 300 barów. Na podstawie tych badań stwierdzono, że wykorzystanie ciśnienia 200 barów umożliwia redukcję wielkości cząstek nie powodując negatywnych zmian m.in. zmiany barwy produktu [3]. Natomiast homogenizacja ultradźwiękowa z powodzeniem stosowana jest w przypadku tworzenia emulsji [8] oraz jako zabieg zmieniający właściwości reologiczne wielu produktów spożywczych [1]. Aktualnie zastosowanie homogenizacji ultradźwiękowej w przemyśle spożywczym ma szczególne zastosowanie w przypadku mleka [30] oraz napojów roślinnych zastępujących mleko krowie [6], ograniczając zjawisko sedymentacji w tych produktach.



Rycina 3. Rozkład wielkości cząstek w soku z truskawek homogenizowanym metodą wysokociśnieniową (Kontrola – sok niehomogenizowany, HPH200 – sok homogenizowany wysokociśnieniowo z zastosowaniem 200 barów, HPH600 – sok homogenizowany wysokociśnieniowo z zastosowaniem 600 barów).

Figure 3. Particle size distribution in strawberry juice homogenized by high-pressure method (Control - non-homogenized juice, HPH200 - 200 bar high-pressure homogenized juice, HPH600 - 600 bar high-pressure homogenized juice).



Ryc. 4 przedstawia wygląd soków truskawkowych po 48 godzinach od pasteryzacji soku. Zdjęcie obrazuje zróżnicowanie stabilności zmętniania soków homogenizowanych ultradźwiękami oraz wysokimi ciśnieniami w porównaniu z sokiem niehomogenizowanym. Sok, którego nie homogenizowano (kontrola) uległ wyraźnej sedymentacji, w wyniku której uzyskano sok klarowny w górnej części butelki i osad widoczny na dnie butelki. Pozostałe obiekty charakteryzują się różnym stopniem zmętnienia ustabilizowanym poprzez zastosowanie homogenizacji, dostrzegalne są jednak różnice pomiędzy obiektami. Podobne wyniki uzyskano, traktując ultradźwiękami soki pomarańczowe, w których przypadku nie zaobserwowano widocznej wizualnie separacji faz nawet po 4 dniach przechowywania soku [25].

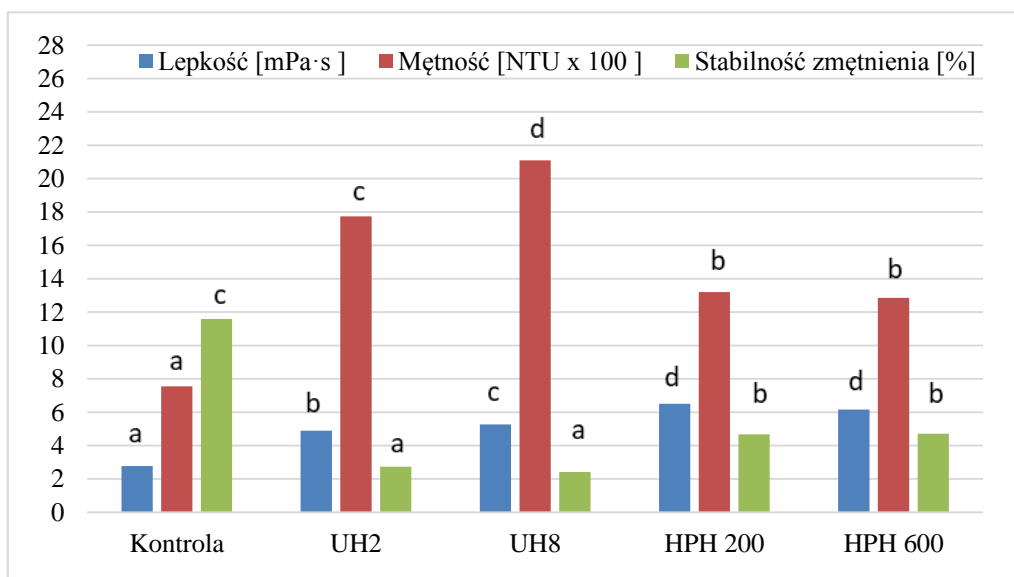


Rycina 4. Porównanie stopnia sedymentacji soków po 48 godzinach przechowywania w zależności od rodzaju homogenizacji (od lewej: KONTROLA, UH2, UH8, HPH200, HPH600)

Figure 4. The comparison of the sedimentation degree of juices after 48 hours of storage, depending on the homogenization treatment (from the left: CONTROL, UH2, UH8, HPH200, HPH600)

Pomiar mętności soku wykazał, że soki homogenizowane miały zdecydowanie wyższy poziom zmętnienia w porównaniu z sokiem niehomogenizowanym, którego zmętnienie wynosiło 755 NTU (Ryc. 5). Najwyższym poziomem zmętnienia charakteryzowały się soki homogenizowane ultradźwiękami, a czas procesu miał pozytywny wpływ na ten parametr. Zmętnienie tych soków było wyższe o 135 % dla UH2 i 179 % dla UH8 od zmętnienia soku niehomogenizowanego (KONTROLA). Na tej podstawie można stwierdzić, że wydłużony czas homogenizacji miał pozytywny wpływ na poziom zmętnienia. Natomiast soki homogenizowane wysokociśnieniowo nieznacznie różniły się od siebie pod tym względem. Poziom zmętnienia dla soku HPH200 wzrósł o 75 %, a dla soku HPH600 – o 70 % w porównaniu z sokiem niehomogenizowanym.

Jednakże obserwowane zmętnienie soków charakteryzowało się niską stabilnością. W porównaniu z niehomogenizowanym sokiem, którego zmętnienie miało stabilność na poziomie 11,6 %, soki homogenizowane miały niższą stabilność zmętnienia. Soki homogenizowane ultradźwiękowo miały średnio o 9,0 %, a soki homogenizowane wysokociśnieniowo – o 5,9 % niższą stabilność zmętnienia.



Rysina 5. Mętność, stabilność zmętnienia oraz lepkość soków w zależności od rodzaju homogenizacji (słupki oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ ;  $n = 4$ ).

Figure 5. Turbidity, stability of turbidity and juice viscosity depending on the type of homogenization (bars labelled with the same letter correspond to results that show no statistically significant differences at  $p < 0.05$ ;  $n = 4$ ).

Pod wpływem homogenizacji wzrosła lepkość wszystkich badanych soków, która osiągnęła najwyższą wartość 6,5 mPa·s dla soku HPH200 (o 135 % więcej od soku niehomogenizowanego). Sok HPH600 charakteryzował się lepkością równą 6,2 mPa·s (o 122 % więcej od soku niehomogenizowanego). Soki homogenizowane ultradźwiękowo posiadały niższą lepkość wynoszącą 4,9 mPa·s dla soku UH2, a dla soku UH8 - 5,3 mPa·s. Obserwowany wzrost lepkości soków homogenizowanych nie był zatem skorelowany z poziomem zmętnienia. Przeciwnie obserwacje zanotowano w przypadku traktowania ultradźwiękami soków pomarańczowych [16], gdzie im dłużej trwało oddziaływanie, tym lepkość soku była niższa, jednocześnie obserwowano wzrost zmętnienia i jego stabilności. Zabiegi homogenizacji nie zawsze gwarantują przewidywalny efekt, ponieważ zjawisko stabilności zmętnienia nie zależy jedynie od wielkości cząstek. Jednym z kluczowych czynników wpływających na stabilność zmętnienia jest

również aktywność metyloesteraz pektynowych [32] (niebadanych w tej pracy), których podatność na traktowanie ultradźwiękami jest tematem wielu badań. Dodatkowo zauważa się wpływ pH oraz właściwej obróbki surowca na stabilność zmętnienia soków. W badaniach nad stabilnością soku z pomarańczy, w których skupiono się na interakcji składników i cząstek stanowiących zmętnienie soku, wykazano, że agregacja cząstek prowadząca do utraty stabilności zawiesiny zależy m.in. od zmian pH soku, ale jak podkreślają autorzy, mechanizm stabilności zmętnienia wciąż wymaga dalszych badań [11]. W przypadku soku z marchwi, zakwaszenie soku prowadziło do aglomeracji cząstek, a tym samym obniżenia stabilności zawiesiny i utraty zmętnienia [26]. W badaniu tym wykazano również, że zakwaszenie pulpy przed tłoczeniem poprawia stabilność zmętnienia uzyskiwanego soku, co świadczy o tym, że właściwy schemat technologiczny na początkowych etapach produkcji może mieć decydujący wpływ na jakość uzyskanego soku.

Zawartość kwasu L-askorbinowego i związków fenolowych w badanych próbkach soku została przedstawiona w Tab. 1. Zawartość kwasu L-askorbinowego w soku truskawkowym, niezależnie od sposobu traktowania, wynosiła średnio 16,3 mg/100 ml

Tabela 1. Zawartość kwasu L-askorbinowego oraz związków polifenolowych w soku truskawkowym homogenizowanym różnymi metodami

Table 1. The content of L-ascorbic acid and polyphenolic compounds in strawberry juice homogenized by different methods

Badany parametr [mg/100 cm <sup>3</sup> ]	KONTROLA	HPH200	HPH600	UH2	UH8
Kwas L-askorbinowy	15,76 <sup>a</sup> ± 0,84	15,74 <sup>a</sup> ± 1,04	16,31 <sup>a</sup> ± 0,74	18,27 <sup>a</sup> ± 0,04	15,24 <sup>a</sup> ± 1,69
Katechina	3,05 <sup>a</sup> ± 0,04	3,03 <sup>a</sup> ± 0,01	2,96 <sup>a</sup> ± 0,08	3,07 <sup>a</sup> ± 0,11	3,29 <sup>a</sup> ± 0,26
Pochodna kwasu chlorogenowego	1,65 <sup>a</sup> ± 0,01	1,62 <sup>a</sup> ± 0,01	1,62 <sup>a</sup> ± 0,01	1,64 <sup>a</sup> ± 0	1,63 <sup>a</sup> ± 0,01
Pochodne kwercetyny	1,71 <sup>a</sup> ± 0,01	1,66 <sup>a</sup> ± 0,06	1,63 <sup>a</sup> ± 0,03	1,71 <sup>a</sup> ± 0,04	1,71 <sup>a</sup> ± 0,01
Rutozyd-3- kwercetyny	0,15 <sup>a</sup> ± 0,02	0,16 <sup>a</sup> ± 0,01	0,14 <sup>a</sup> ± 0,01	0,16 <sup>a</sup> ± 0,02	0,17 <sup>a</sup> ± 0,01
Glukozyd-3-cyjanidyny	0,54 <sup>a</sup> ± 0,05	0,54 <sup>a</sup> ± 0,01	0,55 <sup>a</sup> ± 0,01	0,56 <sup>a</sup> ± 0,01	0,51 <sup>a</sup> ± 0,03
Glukozyd – 3 - pelargonidyny	5,34 <sup>a</sup> ± 0,07	5,47 <sup>a</sup> ± 0,02	5,52 <sup>a</sup> ± 0,03	5,78 <sup>a</sup> ± 0,1	5,33 <sup>a</sup> ± 0,23
Rutozyd – 3 - pelargonidyny	0,30 <sup>a</sup> ± 0,02	0,30 <sup>a</sup> ± 0,01	NW	0,31 <sup>a</sup> ± 0,1	0,29 <sup>a</sup> ± 0,01

Objaśnienia / Explanatory notes:

Średnie ± odchylenie standardowe; wartości liczbowe w wierszu oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy  $p < 0,05$  (n=4). Objasnienie: NW – nie wykryto

Explanatory notes: Means ± standard deviation; numerical values in the line labelled with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$  (n=4). Explanation: NW – not detected

soku i była niższa niż wskazują dane literaturowe [3, 4]. Obie badane metody homogenizacji nie wpłynęły istotnie na jej zawartość. Podobne rezultaty uzyskano, traktując ultradźwiękami próbki soku pomarańczowego, gdzie nie stwierdzono różnic w zawartości kwasu L-askorbinowego w porównaniu z sokiem nietraktowanym [16]. Wykryte w próbkach soku związki fenolowe należą do trzech grup flawonoidów: flawanole (katechina), flawonole (pochodne kwercetyny), antocyjany (glukozyd-3- cyjanidyny, glukozyd-3-pelargonidyny, rutozyd-3-pelargonidyny) oraz kwasów fenolowych (pochodna kwasu chlorogenowego), co jest zgodnie z danymi literaturowymi [34]. Zawartość glukozydu-3-pelargonidyny w badanych sokach była najwyższa spośród wykrytych antocyjanów (średnio 5,49 mg/100 ml). Związek ten w głównej mierze odpowiada za barwę truskawek [13]. Nie zaobserwowano żadnego wpływu zabiegów homogenizacji na zawartość związków fenolowych w badanych próbkach soku w porównaniu z sokiem niehomogenizowanym.

Nieznaczny wzrost temperatury występujący w obydwu badanych metodach homogenizacji nie stanowił czynnika powodującego degradację związków fenolowych. Oddziaływanie wysokim ciśnieniem oraz temperaturą do 100 °C na sok truskawkowy, jak wykazali Rodri i wsp. [27], nie powoduje znacznej degradacji antocyjanów.

## Wnioski

1. Homogenizacja wysokociśnieniowa i ultradźwiękowa charakteryzują się wysoką skutecznością w zmniejszaniu wielkości cząstek w soku z truskawek.
2. Zmniejszenie wielkości cząstek pod wpływem obydwu homogenizacji może być postrzegane jako narzędzie do poprawy stabilności zmętnienia soków naturalnie mętnych z truskawek.
3. Homogenizacja wysokociśnieniowa i ultradźwiękowa nie wpływa w istotny statystycznie sposób na zawartość antocyjanów oraz kwasu L-askorbinowego w soku z truskawek.

*Badania zrealizowane w ramach projektu badawczego „Optymalizacja procesu homogenizacji wysokociśnieniowej w produkcji innowacyjnych przetworów z owoców i warzyw” (ZPiPOiW/2/2020–6.2.20) finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki oraz projektu polsko-norweskiego NOR/POLNOR/ QualityBerry 0014/2019-00/2019 finansowanego przez Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt zrealizowany w ramach Norweskiego Mechanizmu Finansowego na lata 2014-2021. „Działamy razem na rzecz zieleni, konkurencyjna i sprzyjająca integracji społecznej Europa”.*

## Literatura

- [1] Aslam R., Alam M.S., Kaur J., Panayampadan A.S., Iqbal Dar O., Kothakota A., Pandiselvam R.: Understanding the effects of ultrasound processing on texture and rheological properties of food: *J. Texture Stud.*, 2022, 53, 6, 775-799.
- [2] Bazzano L.A., Li T.Y., Joshipura K.J., Hu F.B.: Intake of Fruit, Vegetables, and Fruit Juices and Risk of Diabetes in Women. *Diabetes Care*, 2008, 31, 7, 1311-1317.
- [3] Betoret E., Betoret N., Carbonell J. V., Fito P.: Effects of pressure homogenization on particle size and the functional properties of citrus juices. *J. Food Eng.*, 2009, 92, 1, 18-23.
- [4] Beveridge T.: Opalescent and Cloudy Fruit Juices: Formation and Particle Stability. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2002, 42, 4, 317-337.
- [5] Bevilacqua A., Campaniello D., Speranza B., Altieri C., Sinigaglia M., Corbo M.R.: Two Nonthermal Technologies for Food Safety and Quality—Ultrasound and High Pressure Homogenization: Effects on Microorganisms, Advances, and Possibilities: A Review. *J. Food Prot.*, 2019, 82, 12, 2049-2064.
- [6] Bosiljkov T., Brnčić M., Tripalo B., Karlović S., Ukrainczyk M., Ježek D., Rimac Brnčić S.: Impact of ultrasound-enhanced homogenization on physical properties of soybean milk. *Chem. Engin. Trans.*, 2009, 17, 1029-1034.
- [7] Butz P., Tauscher B.: Emerging technologies: chemical aspects. *Food Res. Int.*, 2002, 35, 2-3, 279-284.
- [8] Canselier J. P., Delmas H., Wilhelm A.M., Abismaïl B.: Ultrasound Emulsification – An Overview. *J. Dispers. Sci. Technol.*, 2002, 23, 1-3, 333-349.
- [9] Cao X., Bi X., Huang W., Wu J., Hu X., Liao X.: Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2012, 16, 181-190.
- [10] Duthie S.J.: Berry phytochemicals, genomic stability and cancer: Evidence for chemoprotection at several stages in the carcinogenic process. *Mol. Nutr. Food Res.*, 2007, 51, 6, 665-674.
- [11] Ellerbee L., Wicker L.: Calcium and pH influence on orange juice cloud stability. *J. Sci. Food Agric.*, 2011, 91, 1, 171-177.
- [12] Fernandes F.A.N., Rodrigues S.: Application of Ultrasound and Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration in Drying of Fruits. *Dry. Technol.*, 2008, 26, 12, 1509-1516.
- [13] Garzón G.A., Wrolstad R.E.: Comparison of the Stability of Pelargonidin-based Anthocyanins in Strawberry Juice and Concentrate. *J. Food Sci.*, 2002, 67, 4, 1288-1299.
- [14] Genovese D.B., Lozano J.E.: Effect of Cloud Particle Characteristics on the Viscosity of Cloudy Apple Juice. *J. Food Sci.*, 2000, 65, 4, 641-645. Giampieri F., Forbes-Hernandez T.Y., Gasparrini M., Alvarez-Suarez J.M., Afrin S., Bompadre S., Quiles J.L., Mezzetti B., Battino M.: Strawberry as a health promoter: an evidence based review. *Food Funct.*, 2015, 6, 5, 1386-1398.
- [15] Gomes A., Costa A.L.R., Rodrigues P.D., Castro R.J.S.D., Silva E.K.: Sonoprocessing of freshly squeezed orange juice: Ascorbic acid content, pectin methylesterase activity, rheological properties and cloud stability”, *Food Control*, 2022, 131, #108391.
- [16] Levy R., Okun Z., Shpigelman A.: High-Pressure Homogenization: Principles and Applications Beyond Microbial Inactivation. *Food Eng. Rev.*, 2021, 13, 3, 490-508.
- [17] Lovino R., Baiano A., Pati S., Faccia M., Gambacorta G.: Phenolic composition of red grapes grown in Southern Italy. *Ital. J. Food Sci.* 2006, 18(2), 177-186.
- [18] Nielsen I.L.F., Haren G.R., Magnussen E.L., Dragsted L.O., Rasmussen S.E.: Quantification of Anthocyanins in Commercial Black Currant Juices by Simple High-Performance Liquid Chromatog-

- raphy. Investigation of Their pH Stability and Antioxidative Potency. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, 51, 20, 5861-5866.
- [19] Oguntibeju O.O., Truter E.J., Esterhuysen A.J.: The Role of Fruit and Vegetable Consumption in Human Health and Disease Prevention. *Diabetes Mellitus - Insights and Perspectives*, InTech, 2013.
- [20] Oszmiański J., Wojdyło A.: Comparative study of phenolic content and antioxidant activity of strawberry puree, clear, and cloudy juices. *Eur. Food Res. Technol.*, 2009, 228, 4, 623-631.
- [21] Park Y. K., Park E., Kim J.-S., Kang M.-H. Daily grape juice consumption reduces oxidative DNA damage and plasma free radical levels in healthy Koreans. *Mutat. Res. Mol. Mech. Mutagen.*, 2003, 529, 1-2, 77-86.
- [22] Patrignani F., Lanciotti R.: Applications of High and Ultra High Pressure Homogenization for Food Safety. *Front. Microbiol.*, 2016, 7, #1132.
- [23] Pedersen C, Kyle J, Jenkinson Am, Gardner P, McPhail D, Duthie G. Effects of blueberry and cranberry juice consumption on the plasma antioxidant capacity of healthy female volunteers. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2000, 54(5), 405-408.
- [24] Priyadarshini A., Rajauria G., O'Donnell C.P., Tiwari B.K.: Emerging food processing technologies and factors impacting their industrial adoption. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2019, 59, 19, 3082-3101.
- [25] Reiter M., Stuparić M., Neidhart S., Carle R.: The role of process technology in carrot juice cloud stability. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2003, 36, 2, 165-172.
- [26] Rodrigo D., Van Loey A., Hendrickx M.: Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice. *J. Food Eng.*, 2007, 79, 2, 553-560.
- [27] Smith S.H., Tate P.L., Huang G., Magee J.B., Meepagala K.M., Wedge D.E., Larcom L.L.: Antimutagenic Activity of Berry Extracts. *J. Med. Food*, 2004, 7, 4, 450-455.
- [28] Soler C., Soriano J. M., Mañes J.: Apple-Products Phytochemicals and Processing: A Review. *Nat. Prod. Commun.*, 2009, 4, 5, 69-670.
- [29] Soria A. C. i Villamiel M.: Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci. Technol.*, 2010, 21, 7, 323-331.
- [30] Stowe C.B.: The effects of pomegranate juice consumption on blood pressure and cardiovascular health. *Complement. Ther. Clin. Pract.*, 2011, 17, 2, 113-115.
- [31] Tiwari B.K., Muthukumarappan K., O'Donnell C.P., Cullen P.J.: Inactivation kinetics of pectin methylesterase and cloud retention in sonicated orange juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2009, 10, 2, 166-171.
- [32] Vallée Marcotte B., Verheyde M., Pomerleau S., Doyen A., Couillard C.: Health Benefits of Apple Juice Consumption: A Review of Interventional Trials on Humans. *Nutrients*, 2022, 14, 4, #821.
- [33] Wang S.Y., Zheng W., Galletta G.J.: Cultural System Affects Fruit Quality and Antioxidant Capacity in Strawberries. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50, 22, 6534-6542.

#### THE EFFECT OF HOMOGENIZATION TYPE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES AND CONTENT OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN CLOUDY STRAWBERRY JUICE

##### S u m m a r y

**Background.** Turbidity is an important quality parameter of fruit juices. Sedimentation of pulp particles suspended in juice may result in a negative assessment of the product's quality by consumers. Therefore, turbidity stabilization is a challenge for juice producers. In this study, two types of homogenization were used to constrain juice sedimentation. Cloudy juice made of the "Grandarosa" cv. strawberries was

used for the research. High-pressure homogenization was carried out with an Atomo 3.0 homogenizer at a pressure of 200 and 600 bar. Ultrasonic homogenization was carried out with a Sonics VCX 750 sonicator using 750W power for 2 and 8 minutes. The juice samples were analyzed for particle size distribution, viscosity, turbidity, total anthocyanin content, phenolic compounds and ascorbic acid content.

**Results and conclusions.** In the case of ultrasonic homogenization, approximately 70 % of the particles present in the juice had a diameter below 25  $\mu\text{m}$ , while in non-homogenized juice, the fraction of particles with a diameter below 25  $\mu\text{m}$  was only 25 %. High-pressure homogenization, regardless of the pressure used, had a higher efficiency in the fragmentation of turbidity particles than ultrasonic homogenization (approximately 90% of the particles below 25  $\mu\text{m}$  in size). Homogenization at a pressure of 200 bar resulted in the highest increase in viscosity to 6.5 mPa·s, by 135 % more than the non-homogenized juice. The juice homogenized ultrasonically for 8 minutes had the highest turbidity level, with a turbidity of 2<sup>110</sup> NTU. The average content of total anthocyanins (6 mg/100 cm<sup>3</sup>) and L-ascorbic acid (16.8 mg/100 cm<sup>3</sup>) in the strawberry juice did not differ statistically significantly, regardless of the type of homogenization. High-pressure homogenization and ultrasonic homogenization are highly effective in reducing the size of particles in strawberry juice, however, none of them significantly degrades the anthocyanins and ascorbic acid content.

**Key words:** high-pressure homogenization, ultrasonic homogenization, particle size, turbidity, fruit juices

