

Możliwości zastosowania ultradźwięków w przemyśle owocowo-warzywnym

The Possibilities of Ultrasound Application in the Fruit and Vegetable Processing Industry

dr hab. Dorota Konopacka, prof. dr hab. Witold Płocharski, mgr inż. Karolina Siucińska

Zakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Owoców, Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice

Słowa kluczowe: ultradźwięki, zastosowanie, jakość produktów

Keywords: ultrasounds, application, product quality

The fruit and vegetable sector, like other branches of the food industry, is forced to search continuously for new technical and technological solutions, which are not only considered safe and environmentally friendly, but can additionally help improve the quality of food products and efficiency of processing operations. Acoustic waves, in the range of ultrasound, seem to offer the possibility of fulfilling the above mentioned expectations.

In this article the overall information concerning ultrasound characteristics along with methods of their potential application are presented. The feasible usage of ultrasounds in the fruit and vegetable processing industry is described, taking into consideration both their usefulness in quality control and technological process monitoring as well as the potential to streamline and enhance process efficiency.

Branża owocowo-warzywna, podobnie jak inne sektory przemysłu spożywczego, jest zmuszona do ciągłych poszukiwań nowych rozwiązań techniczno-technologicznych, które, będąc jednocześnie uważane za bezpieczne i przyjazne środowisku, mogą sprzyjać poprawie zarówno jakości produktów, jak i efektywności procesów przetwórczych. Jedną z technik spełniającą powyższe oczekiwania wydają się być fale akustyczne w zakresie ultradźwięków.

W pracy przedstawiono ogólne pojęcia dotyczące charakterystyki i właściwości ultradźwięków oraz potencjalne sposoby ich wykorzystania w praktyce. Ponadto omówiono możliwości wykorzystania ultradźwięków w przemyśle owocowo-warzywnym zarówno w kontekście zagadnień kontroli jakości i monitorowania przebiegu procesów technologicznych, jak i w odniesieniu do ich potencjału zwiększania efektywności procesów jednostkowych.

Wstęp

W zależności od częstotliwości i natężenia fali praktyczne zastosowanie ultradźwięków obejmuje dwa obszary: bierny i czynny. Ultradźwięki bierny, o wysokiej częstotliwości i niskim natężeniu, wykorzystywane są w diagnostyce medycznej i technikach pomiarowych, zaś ultradźwięki czynne, o dużym natężeniu i mocy, mają zdolność oddziaływania z materią i mogą modyfikować przebieg procesów fizycznych lub chemicznych. Właśnie ten rodzaj ultradźwięków jest chętnie wykorzystywany w różnych dziedzinach przemysłu do wspomagania jednostkowych operacji technologicznych. Początkowo były to głównie przemysł chemiczny i metalurgiczny, jednak ostatnio coraz częściej znajdują one zastosowanie w przemyśle spożywczym, w tym w przetwórstwie owoców i warzyw. Szczególnie korzystne wydaje się wykorzystanie ultradźwięków w powiązaniu z tradycyjnymi technologiami, a w szczególności z tymi, wymagającymi dużych nakładów energetycznych. Rozwój techniki, umożliwiający efektywne generowanie fal akustycznych, przyczynił się również do tworzenia innowacyjnych systemów pomiarowych i kontroli jakości, które z powodzeniem mogą być wykorzystane w procesach jednostkowych, charakterystycznych dla przetwórstwa owoców i warzyw.

Informacje ogólne o ultradźwiękach

Termin ultradźwięki (w skrócie US od ang. ultrasounds) odnosi się do fal dźwiękowych poza zakresem słyszalnym przez człowieka, tj. powyżej 16 kHz. W praktyce zwykle wykorzystywane są częstotliwości od 20 kHz do 10 MHz. Podobnie jak fale słyszalne ultradźwięki mają charakter fali mechanicznej, w której drgania mechaniczne cząstek ośrodka wokół położenia równowagi rozchodzą się w ośrodku w postaci fal sprężystych [1]. Fala akustyczna posiada energię przekazaną jej przez

drgające źródło (generator US). Fizycznie propagacja fali akustycznej polega na okresowym zagęszczaniu i rozrzedzaniu ośrodka, wywołującym chwilowe wzrosty i spadki ciśnienia [2]. Fale US o niskiej intensywności (poniżej $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$) i wysokiej częstotliwości (powyżej 100 kHz) znajdują zastosowanie jako niejonizująca energia, możliwa do zastosowania w sposób nieinwazyjny i są wykorzystywane do badań właściwości fizykochemicznych materiałów. Takie niskoenergetyczne ultradźwięki o wysokiej częstotliwości, przechodząc przez ciało ciekłe, nie wywołują żadnych trwałych zmian, a rozrzedzenia i zagęszczenia powstałe w trakcie przechodzenia takiej fali wyrównują się natychmiast po jej przejściu [2]. Dla odmiany ultradźwięki o wysokiej intensywności (powyżej $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, najczęściej w granicach od 10 do $1000 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$) i niskiej częstotliwości (zwykle w granicach od 20 do 100 kHz) wywołują w ośrodku skutki określone jako efekty wtórne lub wręcz bezpośrednie trwale zmiany pozostające po przejściu fali harmonicznej, które są wykorzystywane w celu zmiany właściwości materiałów w sposób fizyczny bądź chemiczny [2, 3, 4, 5]. W tym obszarze US mają zdolność wywoływania w płynach zjawiska kawitacji, polegającego na implozji mikropęcherzyków gazów. Według Polskiej Normy PN-86/H-04426 [6] kawitacja jest zjawiskiem wywołanym zmiennym polem ciśnienia cieczy, polegającym na tworzeniu się, powiększaniu i zanikaniu pęcherzyków lub innych obszarów zamkniętych (kawern), zawierających parę danej cieczy, gaz lub mieszaninę parowo-gazową. Zjawisko to prowadzi do powstania szeregu drobnych rozerwań w strukturze cieczy pod wpływem sił rozprężających wytworzonych przez działanie fali dźwiękowej podczas fazy rozprężania [2]. Skutkiem kawitacji jest powstawanie w ośrodku płynnym mikrostrumieni (strumienie akustyczne), naprężeń ścinających, fal uderzeniowych i turbulencji [7]. Wskutek wzrostu i gwałtownego rozpadu pęcherzyków gazu ma miejsce także ogrzewanie (punktowo temperatura może wzrastać do 5000 K) i wzrost ciśnienia (do 100 MPa), co jest powodem powstawania fal o dużej sile ścinania i turbulencji [3, 8, 9]. Niezależnie od zjawiska kawitacji, ultradźwięki generują różnego rodzaju efekty fizyczne, np. wibracje (wskutek kompresji i dekompresji ośrodka), skutkiem czego następują reakcje chemiczne, w tym możliwe jest nawet powstawanie reaktywnych rodników. Skutki związane z zastosowaniem ultradźwięków zależą także od środowiska, w którym rozchodzą się fale ultradźwiękowe (płyn, gaz, ciecz nadkrytyczna) i od traktowanego materiału. Jak podają Cárceł i in. [9] intensywność kawitacji i jej skutki zależą na przykład od lepkości cieczy (kawitacja nie zachodzi w środowisku gazu lub medium nadkrytycznym) i warunków procesu, takich jak: intensywność ultradźwięków, ich częstotliwość i ciśnienie. Różnorodne oddziaływanie ultradźwięków daje szerokie możliwości ich zastosowania i jest przedmiotem intensywnych badań, obejmujących różne dziedziny, w tym przemysł spożywczy [3, 10] i np. medycynę [11]. Klasa US niskoenergetycznych (poniżej $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ i częstotliwości $> 100 \text{ kHz}$), która nie wywołując bezpośrednio działań inwazyjnych, może modyfikować przebieg procesów w zakresie stymulacji aktywności żywych komórek, oczyszczania powierzchni żywności, wpływu na enzymy. Doniesienia literaturowe potwierdzają przydatność stosowania tego typu US w procesach zmiękczenia niektórych produktów (np. mięsa), wspomagania ekstrakcji, krystalizacji, emulsyfikacji i filtracji, a także procesów suszenia i zamrażania [8]. US wysokoenergetyczne natomiast znalazły zastosowanie m.in. do odgazowywania produktów płynnych, emulsyfikacji, inicjowania reakcji utleniania/redukcji, modyfikowania właściwości funkcjonalnych białek, inaktywacji lub przyspieszania aktywności enzymów, inicjowania nukleacji w procesie

Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Spożywczego



ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa; tel. 22 826 63 44,
tel./fax 22 827 38 47, www.sitspoz.pl
szkolenia@sitspoz.pl; zespol.rzeczoznawcow@sitspoz.pl;
biuro@sitspoz.pl

Służymy radą i doświadczeniem od 1946 r.

Ośrodek Doskonalenia Kadr organizuje szkolenia otwarte z tematów:

- stan aktualny i przewidywane zmiany w prawie żywnościowym,
- warsztaty poprawnego znakowania żywności,
- audytor wewnętrzny systemu HACCP/audytor wewnętrzny Systemu Zarządzania Jakością – potwierdzone uznawanym certyfikatem,
- różne aspekty kontroli jakości w praktyce,
- szkolenia technologiczne w ramach branży spożywczej.

Aktualny harmonogram szkoleń otwartych – www.sitspoz.pl

Certyfikujemy systemy HACCP na zgodność z Codex Alimentarius

Inne szkolenia otwarte:

- uprawnienia energetyczne dla dozoru (D) i eksploatacji (E) zakończone egzaminem,
- szkolenia na wózki widłowe,
- szkolenie BHP, P. Poż. i z zakresu Dobrej Praktyki Higienicznej i Produkcyjnej (GHP i GMP).

Organizujemy na zlecenie:

- szkolenia (wysoko)specjalistyczne dla różnych grup odbiorców,
- inne szkolenia zamknięte dla firm.

Zapraszamy do korzystania z naszej oferty:

tel.: 22 33 61 327, fax: 22 827 38 47

e-mail: szkolenia@sitspoz.pl

Zespół Statutowo-Organizacyjny na zlecenie kontrahentów zewnętrznych organizuje:

- imprezy naukowe (konferencje, seminaria, sympozja),
- imprezy promocyjne (wystawy).

tel.: 22 826 63 44, fax: 22 827 38 47

e-mail: biuro@sitspoz.pl

Zespół Rzeczoznawców wykonuje:

- wyceny majątkowe obejmujące nieruchomości, maszyny, sprzęt i linie technologiczne,
- opinie dotyczące innowacyjności planowanych inwestycji,
- opracowania i ekspertyzy z zakresu technologii, badania zdolności produkcyjnej zakładów,
- ekspertyzy i opinie dotyczące jakości przetworów przemysłu spożywczego, ze szczególnym uwzględnieniem branży owocowo-warzywnej,
- normalizacja w zakresie przetworów z owoców i warzyw oraz metod analizy ich jakości,
- elaboraty odszkodowawcze oraz wyceny majątkowe dla obiektów znacjonalizowanych z naruszeniem prawa, zwracanych właścicielom.

Zainteresowanych naszą ofertą prosimy o kontakt:

tel.: 22 827 38 49, fax: 22 827 38 47

e-mail: zespol.rzeczoznawcow@sitspoz.pl

3M Science.
Applied to Life.™

3M Purification Inc.

Rozwiązania filtracyjne dla branży spożywczej



3M Poland Sp. z o.o.

al. Katowicka 117

Kajetany 05-830 Nadarzyn

Telefon 22 739 60 00

Email cuno.pl@mmm.com

Web www.3m.pl/filtracja

► krystalizacji, suszenia i wspomagania ekstrakcji różnych składników żywności, w tym składników bioaktywnych [3, 5, 8, 12, 13]. W odniesieniu do przemysłu owocowo-warzywnego naukowcy są szczególnie zainteresowani możliwością wykorzystania ultradźwięków w procesach wymagających wysokich nakładów energetycznych, takich jak suszarnictwo.

Analiza i kontrola żywności

Jak opisano powyżej, fale ultradźwiękowe przenikając przez materiały jako fale mechaniczne, powodują ich lokalną kompresję i dekompresję. Skutki działania US zależą od długości fali, szybkości, częstotliwości, ciśnienia i czasu działania. Zależnie od rodzaju materiału następuje zmiana szybkości fali i jej tłumienie, gdyż są one absorbowane bądź rozpraszane [5]. Szybkość przemieszczania się ultradźwięków w materiale zależy od organizacji cząsteczek i interakcji pomiędzy nimi, co pozwala na określenie składu, struktury, stanu fizycznego i różnych przemian w materiale (np. krystalizacji, zmian faz, tworzenia emulsji). Inne parametry ultradźwięków, korelujące z fizykochemicznymi właściwościami materiałów, to tłumienie i opór akustyczny. W pomiarach mających na celu ocenę jakości surowców i gotowych produktów uwzględnia się wpływ danego obiektu na rozproszenie, osłabienie i odbicie fali ultradźwiękowej, podobnie jak to ma miejsce w przypadku fali świetlnej. W celu określenia wielkości zmian charakterystycznych fal US wykorzystuje się przede wszystkim dwie techniki: pomiar echa pulsacyjnego i ciągły pomiar fali [5].

Ciekawe zastosowania ultradźwięków do oceny jakości surowców roślinnych opisują Chandrapala i in. [14], którzy ultradźwięki o niskiej intensywności (poniżej $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$) i częstotliwości od 50 do 100 kHz wykorzystywali do oceny jakości świeżych owoców i warzyw, w tym jabłek, pomidorów, marchwi, melonów i innych. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość korelowania wyników pomiarów szybkości rozchodzenia się ultradźwięków i ich tłumienia z cechami fizycznymi surowców (tekstura, jędrność) i ich składem chemicznym (zawartość ekstraktu, suchej substancji i kwasów). Przy tego typu miernikach odbiornikiem fal może być urządzenie, które je generuje bądź inny przetwornik fal. Tego rodzaju zastosowania stają się coraz bardziej powszechne, w związku z tym, że pomiary są szybkie, dokładne, niedrogie, proste w wykonaniu i niedestrukcyjne. Ultradźwięki o niskiej mocy, w połączeniu ze spektroskopią i rezonansem magnetycznym, stają się obecnie popularną niedestrukcyjną metodą pomiarową. W literaturze można znaleźć liczne przykłady zastosowania US do kontroli jakości produktów spożywczych, w tym na przykład do pomiaru zawartości tłuszczu i mięsa u żywych zwierząt, czy do monitorowania zmian reologicznych w niejednorodnych układach żywności płynnej, takich jak sosy i pasty warzywne, sosy warzywno-serowe, a nawet jogurty z dodatkami truskawek [15].

Interesującym przykładem zastosowania US do kontroli procesów technologicznych jest możliwość ich zastosowania do monitorowania fermentacji alkoholowej, przy jednoczesnym pomiarze zarówno zawartości cukru, jak i etanolu (z wysoką dokładnością – odchylenie 0,22%), przy użyciu metody echa impulsu US [16]. Ultradźwięki nadają się również do wykrywania i identyfikacji ciał obcych w takich produktach, jak: napoje, jogurty, soki owocowe i keczup pomidorowy, a także np. pestek w produktach z wiśni. Knorr i in. [8] wykazali, że wykrywanie takich ciał obcych, jak: szkło, kawałki plastiku i naturalnych zanieczyszczeń (pestek) mogło być z powodzeniem przeprowadzone bezdotykowo, niezależnie od testowanego produktu i rodzaju opakowania, jego kształtu i materiału, z jakiego było ono wykonane (metal, szkło, plastik).

Zastosowania technologiczne US czynnych

W odniesieniu do ultradźwięków, które mają zdolność do wywoływania efektów wtórnych w formie kawitacji lub wręcz do wchodzenia w bezpośrednie interakcje z ośrodkiem, przez który się przemieszczają, została zidentyfikowana szeroka gama zastosowań korzystnych z punktu widzenia przyspieszenia procesów technologicznych. Jedno z pierwszych tego typu zastosowań dotyczyło wykorzystania US do wspomagania procesu ekstrakcji różnych składników (ekstraktów ziołowych, polifenoli, w tym antocyjanów, związków aromatycznych, polisacharydów, białek i olejów) w celu zwiększenia wydajności procesu. Balachandran i in. [17] uzyskali o 30%

większą ekstrakcję ostrych w smaku składników z imbiru w procesie ekstrakcji nadkrytycznej pod warunkiem dokładniejszego rozdrobnienia materiału, tj. do wielkości cząstek 4 mm w stosunku do ekstrakcji bez użycia ultradźwięków. Osiągnięte efekty są wynikiem między innymi zmian w strukturze materiału traktowanego ultradźwiękami – uszkodzenia komórek, oraz wynikiem fluktuacji ciśnienia, co może sprzyjać dyfuzji składników z wnętrza komórek. Uważa się, że ekstrakcja z wykorzystaniem ultradźwięków pozwala nie tylko na zwiększenie wydajności i skrócenie czasu ekstrakcji, ale daje także możliwość zastosowania alternatywnych solwentów, umożliwia użycie tańszych surowców i ekstrakcję materiałów wrażliwych na wysokie temperatury [18].

Fale ultradźwięków o wysokiej intensywności stanowią też atrakcyjną propozycję w operacji odpieniania roztworów, gdyż pozwalają uniknąć zastosowania silnego przepływu powietrza, stosowania środków chemicznych i mogą być stosowane w warunkach zapewniających sterylność produktów [18]. Opracowane zostały urządzenia możliwe do zastosowania w skali przemysłowej, np. do odpieniania napojów gazowanych. Ultradźwięki mogą również znaleźć zastosowanie do odgazowywania produktów. W tym celu stosuje się fale o niskiej częstotliwości zdolne do inicjowania zjawiska kawitacji, zwykle w zakresie 20–50 kHz.

Wpływ ultradźwięków na lepkość produktów

Literatura podaje przykłady oddziaływania US na zmianę struktury materiałów [1, 2, 3, 7, 8]. Zależnie od intensywności ultradźwięków, lepkość produktów może ulec zwiększeniu bądź zmniejszeniu, przy czym wpływ może być stały albo okresowy. W wyniku działania sił ścinających wskutek kawitacji następuje czasowe obniżenie lepkości produktu, a jeśli zastosuje się duże moce US, to może nastąpić destrukcja cząsteczek (np. częściowe odszczepienie wiązań glikozydowych skrobi), prowadząc do zmniejszenia ich ciężaru molekularnego i stałego spadku lepkości [18]. Dlatego też US znalazły szerokie zastosowanie w celu depolimeryzacji granulek skrobi i kontroli lepkości roztworów skrobi. Wskazuje się jednak także na możliwość zwiększenia lepkości wskutek penetracji cząsteczek wody w strukturę np. błonnik przecieru pomidorowego, powodując wzrost jego lepkości. US mogą też wpływać na strukturę białek, zwiększając lepkość roztworu, prawdopodobnie wskutek „otwarcia” na otaczające środowisko wodnych części hydrofilnych aminokwasów.

Jak podaje Chandrapala i in. [7] US znalazły szerokie zastosowanie w emulsyfikacji produktów spożywczych, tj. dyspersji jednego płynnego materiału w drugim, w sytuacji, gdy normalnie nie mieszają się ze sobą. Mogą być także wykorzystane w procesie destrukcji emulsji, przy zastosowaniu częstotliwości od 40 kHz do 2 MHz. W emulsyfikacji stosuje się niskie częstotliwości (np. 20 kHz, zwykle od 16 do 100 kHz), które generują bardzo silne siły ścinające. Oczywiście emulsje można uzyskiwać także stosując inne techniki (np. poprzez wytrząsanie, zastosowanie młynów koloidalnych, homogenizatorów wysokociśnieniowych czy mikroflu-idyzatorów), ale zastosowanie sonikacji pozwala na otrzymanie trwalszych emulsji przy mniejszych kosztach. Technologia ta znalazła zastosowanie przede wszystkim w przemyśle mleczarskim [13], ale również i w owocowo-warzywnym, np. w produkcji przecierów pomidorowych i soków owocowych. Wyniki uzyskane przez Keenan i in. [20] dla smoothies wskazują, że wykorzystanie ultradźwięków o wysokiej mocy (od $9,24$ do $22,79 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, częstotliwości 20 kHz, amplitudzie 40%; 70%; 100% równoważnej $24,4$; $42,7$ i $61 \mu\text{m}$ w czasie działania 3 i 10 min) w procesie utrwalania tego produktu prowadzi do obniżenia lepkości i zredukowania wielkości cząstek. Teoretycznie zjawisko to powinno sprzyjać stabilizacji faz produktu, jednak nadmierna modyfikacja tekstury może go upodabniać do klasycznego soku. Wbrew tym obawom smoothies wyprodukowane z użyciem ultradźwięków o wysokiej mocy uzyskały w ocenie hedonicznej wyższe noty niż produkowane tradycyjną metodą próbki kontrolne utrwalane termicznie.

Wpływ US na składniki termolabilne

Wiadomo, że termiczne utrwalanie produktów poprzez pasteryzację jest najczęściej stosowane w przemyśle, ale niezależnie, czy jest to konwencjonalna pasteryzacja w opakowaniach, czy pakowanie aseptyczne z wykorzystaniem tech-

► nologii HTST (wysoka temperatura, krótki czas obróbki), wysokie straty składników odżywczych są nieuniknione. Dlatego też poszukuje się alternatywnych metod pozwalających na zminimalizowanie zmian sensorycznych i strat składników odżywczych. Zastosowanie sonikacji daje takie możliwości, ale jak zwracają uwagę Soria i Villamiel [19], zależnie od rodzaju procesu i matrycy materiału, chemiczne efekty kawitacji akustycznej mogą być albo korzystne, albo negatywne. Tiwari i in. [21], utrwalając soki pomarańczowe, wykazali, że sonikacja prowadzi do zmniejszenia ilości rozpuszczonego w materiale tlenu i pomimo tego, że w czasie traktowania następują zmiany oksydacyjne (wskutek powstania wolnych rodników hydroksylowych na powierzchni i wewnątrz pęcherzyków), to bilans strat kwasu askorbinowego jest jednak nieco mniejszy (5%), niż przy utrwalaniu konwencjonalnym (7%). Wart podkreślenia jest jednak fakt, że zastosowanie ultradźwięków skutkowało istotnym zmniejszeniem strat kwasu askorbinowego w czasie przechowywania soków. Z kolei Tiwari i in. [22], stosując zmienne warunki sonikacji (amplituda od 40 do 100% i czas od 0 do 10 min przy częstotliwości 20 KHz), wykazali, że antocyjany w soku jeżynowym (głównie cyjanidin-3-glukozyd) były wysoce stabilne (zachowalność >94%), nawet przy maksymalnych warunkach traktowania. Ich zdaniem ultradźwięki mogą być wykorzystane do utrwalania produktów z jeżyn w przypadku, gdy priorytetem jest utrzymanie na wysokim poziomie zawartości antocyjanów. Niewielkie zmiany zawartości antocyjanów można wyjaśnić faktem, że pomimo tworzenia się wolnych rodników sprzyjających utlenianiu fenoli, następuje również wzmocnienie aktywności antyoksydacyjnej innych związków, np. flawonoidów, poprzez ich hydroksylację wskutek powstawania rodników •OH [16]. Również Siucińska i in. [23], stosując sonikację w procesie odwadniania osmotycznego, wykazali, że ultradźwięki nie wpłynęły znacząco negatywnie na zachowalność antocyjanów w stosunku do próbki kontrolnej (odwadnianie osmotycznie bez wspomaganie ultradźwiękami), a znacząca ich degradacja (o 10% w porównaniu z pozostałymi próbkami) następowała dopiero przy stosowaniu US przez 90 min.

Zastosowanie ultradźwięków w powiązaniu z innymi technologiami

Jednym z potencjalnych zastosowań ultradźwięków jako czynnika wspomagającego inne technologie może być ich wykorzystanie do inaktywacji enzymów odpornych na temperaturę. Biorąc pod uwagę uprzedzenia konsumentów do stosowania w procesach przetwórczych chemicznych konserwantów, rozważa się możliwość ich ograniczenia na rzecz wykorzystania energii ultradźwięków. W literaturze opisywane są interesujące wyniki zastosowania US jako czynnika wspomagającego obróbkę cieplną oraz obróbkę cieplną w kombinacji z umiarkowanymi bądź wysokimi ciśnieniami. Niszczenie drobnoustrojów przy użyciu US związane jest z procesem kawitacji, które to zjawisko w powiązaniu z temperaturą w specyficzny sposób oddziałuje na błony komórek mikroorganizmów. Efekty są zależne od rodzaju mikroorganizmów (struktury ich błon komórkowych), ich kształtu, a przede wszystkim powierzchni mikroorganizmów i ich objętości. Według Demirdöven i Baysal [4] zastosowanie samych ultradźwięków do niszczenia drobnoustrojów nie jest realne i tę technikę należy łączyć z innymi. Knorr i in. [8] wykazali na przykład, że zastosowanie ultradźwięków w połączeniu z bezpośrednim wtryskiem pary w większym stopniu inaktywowały przetrwalniki *Bacillus Stearothermophilus* i bakterie *Escherichia coli K12 DH 5* w porównaniu z metodą konwencjonalną z zastosowaniem jedynie wtrysku pary w tych samych warunkach. Przy zastosowaniu tej kombinacji istnieje możliwość skrócenia czasu obróbki produktu bądź obniżenia temperatury sterylizacji. Co ciekawe, okazało się, że *Lactobacillus acidophilus* wykazał lepszą przeżywalność w trakcie procesu kombinowanego z US, co stwarza możliwości wykorzystania tej technologii w selektywnym niszczeniu drobnoustrojów, np. przy pasteryzacji fermentowanych produktów dla zachowania stabilności i aktywności pożądaných w produkcie mikroorganizmów probiotycznych. Wykazano ponadto, że większość mikroorganizmów była bardziej wrażliwa na ultradźwięki w temperaturze powyżej 50 °C. Szczegółowe informacje o wpływie kombinowanych technik na przeżywalność różnych drobnoustrojów podaje Chandrapala i in. [14].

Interesującym zagadnieniem z punktu widzenia przetwórstwa owoców i warzyw jest również wpływ ultradźwięków na aktywność enzymów. Okazuje się, że mogą one działać dwojako: inaktywować je bądź aktywować, zależnie od warunków traktowania i rodzaju enzymu. Inaktywacja ma miejsce wtedy, gdy enzymy podlegają defragmentacji bądź agregacji [24]. Inaktywację enzymów przypisuje się głównie zjawisku kawitacji, ale intensywne wzbudzenie roztworu powodowane przez mikrostrumienie (jak np. w myjce ultradźwiękowej) również może przyczynić się denaturacji białek, poprzez np. rozbicie wiązań wodorowych. Podobnie jak w przypadku drobnoustrojów, działanie ultradźwięków może być skuteczniejsze w inaktywacji enzymów w powiązaniu z zastosowaniem umiarkowanie podwyższonej temperatury i/lub ciśnienia, ale jest zależne także od rodzaju enzymu. Do odpornych na inaktywację termiczną należy np. pektynometyloesteraza i celowe jest zastosowanie kombinowanej technologii, np. traktowania ultradźwiękami w warunkach podwyższonego ciśnienia i temperatury, tj. przy zastosowaniu tzw. sonikacji ciśnieniowo-termicznej [18].

O korzyściach z zastosowania ultradźwięków, w tym o możliwym istotnym zmniejszeniu zapotrzebowania na energię (np. w procesie sterylizacji produktów) w technologii żywności, szczegółowo informują również Chemat i in. [18]. W Polsce, w badaniach przeprowadzonych przez Nowacką i in. [25] wykazano, że zastosowanie US w procesie obróbki wstępnej jabłek przed ich zamrażaniem pozwalało na skrócenie czasu zamrażania o 5 do 25%. Szczególnie efektywne okazało się traktowanie plasterów jabłek ultradźwiękami o częstotliwości 35 kHz.

Jako równie perspektywiczna postrzegana jest możliwość wykorzystania ultradźwięków w procesach suszenia produktów żywnościowych. Aktualne trendy rozwojowe w suszarnictwie oraz dostępny stan techniki wskazują na możliwość ich zastosowania jako skutecznego czynnika intensyfikującego i skracającego proces suszenia [26, 27], co sprzyja ograniczeniu strat składników bioaktywnych naturalnie zawartych w owocach i warzywach [19]. Dostępne dane literaturowe wskazują na przydatność ultradźwięków do wspomaganie procesów odwadniania tkanki roślinnej zarówno na etapie zasadniczego procesu suszenia, jak też na etapie jej przygotowania i/lub uszlachetniania przed właściwym procesem technologicznym [4, 9, 27, 28, 29]. Suszenie z wykorzystaniem ultradźwięków uważa się za metodę przyjazną środowisku, bezpieczną i korzystną z punktu widzenia jakości końcowej [14]. Wspomaganie ultradźwiękami procesów suszenia jest polecane w pierwszej kolejności dla surowców wrażliwych na termiczne warunki suszenia, takich jak biomateriały, w tym owoce i warzywa o wysokiej zawartości składników bioaktywnych [30, 31].

Podsumowanie

Przytoczone przykłady możliwych zastosowań praktycznych ultradźwięków wyraźnie wskazują na duży potencjał wykorzystania tego typu energii w przetwórstwie owoców i warzyw. Możliwe jest osiągnięcie korzystnych efektów zarówno z punktu widzenia oszczędności energetycznych, jak i w kontekście zwiększenia wydajności procesu oraz poprawy jakości produktu. Rozważając możliwość wykorzystania ultradźwięków w konkretnych operacjach technologicznych, należy brać pod uwagę fakt, że efekt ich działania zależy nie tylko od częstotliwości i energii, ale również od środowiska, w którym mają mieć zastosowanie, co niesie ze sobą konieczność indywidualnego podejścia i szczególowej optymalizacji parametrów procesów. Wciąż w wielu z proponowanych zastosowań, w celu zbudowania efektywnie działających systemów, możliwych do zastosowania na dużą skalę w urządzeniach przemysłowych, istnieje potrzeba dalszych intensywnych badań [5]. W przypadku technologii kombinowanych należy się liczyć z sytuacją, kiedy zastosowanie ultradźwięków może wymagać wręcz zwiększonego zapotrzebowania na energię (np. w przypadku zastosowania sonikacji do inaktywacji drobnoustrojów) i wciąż otwarta pozostaje kwestia, czy poprawa jakości produktu będzie kompensowała poniesione koszty [8]. W najnowszych opracowaniach [10, 32] zwraca się też uwagę na konieczność uwzględnienia w planowanych badaniach modelowania matematycznego, co ma szansę w istotny sposób przyczynić się do optymalizacji warunków traktowania materiału i szybszego przeniesienia ze skali laboratoryjnej do przemysłowej tej stosunkowo nowej, sprzyjającej ochronie środowiska technologii.

Wyporowa pompa ślimakowa czy wyporowa pompa rotacyjna?



Która pompa jest lepsza?

Niektórzy powiedzą, że pompy te konkurują ze sobą. NETZSCH jako producent obydwu systemów pomp wyporowych wie, że pompy te wzajemnie się uzupełniają.

Prawidłowy dobór pompy bazujący na wymaganiach danej aplikacji jest decydujący. NETZSCH oferuje w sposób niezależny i obiektywny właściwy typ pompy do Państwa aplikacji.

NETZSCH

Netzsch Pumpen & Systeme GmbH Sp. z o.o.

Przedstawicielstwo w Polsce
ul. Piłkiewicza 104/34
02-781 Warszawa, Polska
info.nps-polska@netzsch.com
www.netzsch.com



Niniejsze opracowanie zostało przygotowane w ramach projektu:
„Wykorzystanie ultradźwięków do wspomaganie procesów suszenia materiałów biologicznych szczególnie wrażliwych na termiczne warunki suszenia” – PBS1/A8/13/2012; współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- [1] Banaszak J., Kowalski S. J.: 2011. *Metody akustyczne w badaniach inżynierskich*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. 123 s.
- [2] Bezzubow A. D., Garlinskaja E. I., Frydman W. M.: 1968. *Ultradźwięki i ich zastosowania w przemyśle spożywczym*. Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego i Spożywczego, Wrocław. 192 s.
- [3] Dolatowski Z. J., Stadniak J., Stasiak D.: 2007. *Application of ultrasound in food technology*. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment., 6(3), 89–99.
- [4] DOI: 10.1080/87559120802306157.
- [5] DOI: 10.1016/j.foodres.2012.05.004.
- [6] Polska Norma, PN-86/H-04426 *Erozia kawitacyjna. Nazwy, określenia i symbole*.
- [7] DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.01.010.
- [8] DOI: 10.1016/j.tifs.2003.12.001.
- [9] DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.038.
- [10] DOI: 10.1080/10408398.2012.667849.
- [11] Tole N. M.: 2005. *Basic physics of ultrasonographic imaging*. WHO, Geneva, Switzerland.
- [12] DOI: 10.1016/j.seppur.2014.09.008.
- [13] DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.012.
- [14] DOI: 10.1016/j.tifs.2012.01.010.

- [15] DOI:10.1016/j.flowmeasinst.2007.11.002.
- [16] DOI: 10.1016/j.foodcont.2009.06.017.
- [17] DOI:10.1016/j.ultsonch.2005.11.006.
- [18] DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023.
- [19] DOI: 10.1016/j.tifs.2010.04.003.
- [20] DOI: 10.1111/j.1365-2621.2011.02915.x.
- [21] DOI: 10.1016/j.lwt.2008.10.009.
- [22] DOI:10.1016/j.jfoodeng.2009.01.027.
- [23] Siucińska K., Mieszczakowska-Frąc M., Potubok A., Konopacka D.: 2014. *The influence of ultrasound on retention of bioactive compounds in osmo-convectively dried sour cherries*. 19th International Drying Symposium (IDS 2014). Lyon, France, August 24–27.
- [24] Mawson R., Gamage M., Terefe M. S., Knoerzer K.: 2011. *Ultrasound in enzyme activation and inactivation*. W: Feng H., Barbosa-Cánovas G. V., Weiss (Ed.) *Ultrasound technologies for food and bioprocessing* (s. 369–4004) USA, Springer.
- [25] Nowacka M., Fijałkowska A., Witrowa-Rajchert D.: 2013: *Wpływ oddziaływania ultradźwięków na przebieg procesu zamrażania tkanki jabłka*. Przem. Ferment. i Owoc.-Warz., 12, 7–10.
- [26] Nowacka M., Witrowa-Rajchert D.: 2011: *Procesy wstępne stosowane przed suszeniem owoców i warzyw*. Przem. Spoż., 6, t. 65, 6, 36–38.
- [27] DOI: 10.1080/07373937.2014.916719.
- [28] DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.06.013.
- [29] DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.05.129.
- [30] Kudra T., Mujumdar A. S.: 2009. *Advanced Drying Technologies*. Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL, USA.
- [31] DOI: 10.1080/07373937.2011.602576.
- [32] DOI: 10.4172/2157-7110.1000102e.



Polub nas na

facebook.com/PrzemyslFermentacyjnyiOwocowoWarzywny

