

Mogućnosti primjene ultrazvuka visoke snage u mesnoj industriji

Režek Jambrak¹, A., Z Herceg², J. Grbavac²

pregledni rad

Sažetak

Konzerviranje hrane povišenom temperaturom kroz kratko vrijeme još je uvijek najčešći oblik procesa konzerviranja hrane. Procesne varijable izvedene su iz empirijskog istraživanja učinaka temperature i vremena izlaganja na kinetiku mikrobnog preživljavanja, a sa malo pažnje posvećene kvaliteti hrane povezane s toplinskim učincima na sastav hrane i strukturu. Mogućnosti primjene ultrazvuka visoke snage u procesiranju mesa nalazimo u slijedećim operacijama: ekstrakcija (ultrazvuk pomaže proces ekstrakcije narušavajući miofibrile mesa, koji otpuštaju ljepljiv sadržaj povezujući meso i dovodi do veće snage reformiranog proizvoda); emulgiranje i homogenizacija (uključuje miješanje komadića mesa sa vodenom tekućinom koja sadrži sol), salamurenja (ubrzavanje procesa), smrzanje (ubrzava se proces nukleacije i rasta kristala leda; stvaranje većeg broja malih kristala), sušenja (pred tretman ultrazvukom prije procesa sušenja, posljedično skraćuje vrijeme sušenja), promjene teksture te najvažnija primjena u konzerviranju gotovog proizvoda. Primjena ultrazvuka visoke snage u mnogo primjera pokazala se kao vrlo dobra metoda u postizanju željenog učinka.

Glavne riječi: procesiranje mesa, ultrazvuk visoke snage, konzerviranje

Uvod

U zadnje vrijeme znanstvena istraživanja su sve više usmjerena na razvoj različitih novih tehnika i kombinacija procesiranja hrane kojima je moguće dobiti proizvode visoke kvalitete. Jedna od tih tehnika je i ultrazvuk niske frekvencije i visoke snage zbog čije primjene dolazi do fizičkih promjena na biološkom materijalu te do ubrzavanja pojedinih kemijskih reakcija. Posljedica toga je inaktivacija mikroorganizama i enzima, olakšano emulgiranje i homogenizacija, bolja ekstrakcija, bolji učinci sušenja i sl.

Ultrazvuk visoke snage znači primjenu intenziteta višeg od 1 W/cm² (uobičajeno u rasponu od 10–1000 W/cm²) i frekvencija između 18 i 100 kHz (McClements, 1995; Povey i Mason, 1998; Villamiel i de Jong, 2000b). Ultrazvuk veće snage niskih frekvencija (20 do 100 kHz) smatra se ultrazvukom visoke snage, jer uzrokuje kavitaciju te ima primjenu u prehrambenoj industriji. Primjenjuje se kod odzračivanja tekuće hrane, za induciranje reakcija oksidacije/redukcije, za ekstrakciju enzima i proteina, za inaktivaciju enzima i za indukciju nukleacije kod kristalizacije (Roberts, 1993; Thakur i Nelson, 1997; Villamiel i de Jong, 2000a).

Pasterizacija i sterilizacija su najčešće i vrlo rasprostranjene termičke obrade koje se koriste za inaktivaciju mikroorganizama i enzima u prehrambenoj industriji (Chemat i sur., 2011). Zahtjevi potrošača za proizvodima visoke kvalitete potakli su prehrambenu industriju da istraže nove tehnike procesiranja koje će zamijeniti tradicionalne procesne metode (Awad i sur., 2012). Primjena ultrazvuka u porastu je zbog mnogih prednosti u odnosu na konvencionalne procese, a neke od tih prednosti su: kratko vrijeme korištenja, visoka produktivnost, pojednostavljeno rukovanje sa strojevima u odnosu na konvencionalne procese, manja potrošnja energije i smanjenje

cijene proizvoda (Chemat i sur., 2011). Za primjenu u prehrambenoj industriji najpovoljnije frekvencije su one više od 20 kHz (Režek Jambrak i sur., 2010a; 2010b).

Kombinacija ultrazvuka s toplinom i tlakom (manotermosonifikacija) pokazala se učinkovitom u inaktivaciji enzima otpornih na toplinu (O'Donnell i sur., 2010; Vercet i sur., 1997). Ultrazvuk visoke snage dokazano je koristan u nastajanju kristala leda tijekom zamrzavanja vode (Li i Sun, 2002). Nadalje, druga ispitivanja (Ashokkumar i Kentish, 2011; Lima i Sastry, 1990; Sastry i sur., 1989) pokazala su da ultrazvuk visoke snage pospješuje prijenos topline. Koristi se kod emulgiranja, sterilizacije, ekstrakcije, odzračivanja, filtriranja, sušenja i pojačavanja oksidacije (Mason, 1998). Ultrazvuk visoke snage potiče ekstrakciju proteina povećavajući topljivost (Moulton i Wang, 1982), ali i vodi do smanjenja molekularne mase proteina (Režek Jambrak i sur., 2014). Ultrazvuk visoke snage primijenjen je i u izolaciji škroba iz riže sa obećavajućim rezultatima kod kratkog vremena obrade (Wang i Wang, 2004).

Osnovne karakteristike i djelovanje ultrazvuka visoke snage

Zvučni valovi mogu se podijeliti s obzirom na frekvenciju u više područja koja određuju njihovu potencijalnu primjenu (slika 1).

Pri tome su za primjenu u prehrambenoj industriji najznačajnije frekvencije ultrazvuka više od 20 kHz.

Zvučni val određen je svojom amplitudom [A] i frekvencijom [f] (može se odabrati), te valnom duljinom [λ] i koeficijentom prigušenja ili atenuacije [α]. Promjene amplitude ultrazvučnog vala kod određenih položaja u materijalu, i vremena prikazane su na slici 2. Kod fiksnih položaja u materijalu, udaljenost između susjednih maksimuma vala varira sinusoidno s vremenom.

¹ izv. prof. dr. sc. Anet Jambrak Režek; prof. dr. sc. Zoran Herceg, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb

* Corresponding autor: zherceg@pbf.hr

³ doc. dr. sc. Jozo Grbavac, Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru, Biskupa Čule bb, Mostar, BiH

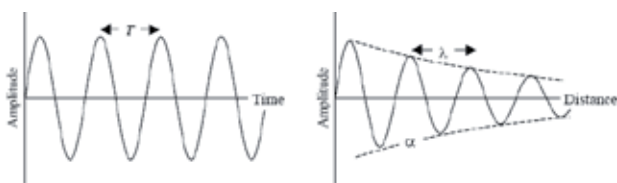


Slika 1. Područja podjele zvuka prema frekvencijama (Mason, 1998)

Amplituda $[A]$ se smanjuje s porastom udaljenosti zbog prigušenja ili atenuacije, a koeficijent prigušenja ili atenuacije $[\alpha]$ je mjera smanjenja amplitude ultrazvučnog vala nakon njegova prolaska materijalom. Koeficijent prigušenja ili atenuacije $[\alpha]$ materijala može se definirati slijedećim izrazom (1) (Režek Jambrak, 2008):

$$(1) A = A_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

gdje je, A_0 početna amplituda zvučnog vala, a x je prijedena udaljenost. Glavni uzroci prigušenja ili atenuacije su adsorpcija i raspršivanje. Adsorpcija je uzrokovana fizikalnim mehanizmom koji pretvara ultrazvučnu energiju u toplinu. Raspršivanje se pojavljuje u heterogenim materijalima, kao što su emulzije, suspenzije i pjene. Za razliku od adsorpcije, energija uslijed raspršivanja još je uvijek spremljena u obliku ultrazvučne energije, ali se ne registira jer su njezin smjer i faza prenošenja promijenjeni (McClements, 1995).



Slika 2. Promjene amplitude ultrazvuka kod određenih položaja u materijalu (lijevo), te kod određenog vremena (desno). T je udaljenost između susjednih maksimuma vala, λ je valna duljina i α je koeficijent atenuacije (McClements, 1995)

Ultrazvuk visoke snage generiran periodičnim mehaničkim gibanjima sonde, prenosi ultrazvučnu energiju u medij i uzrokuje vrlo velike promjene u tlaku, koje dovode do stvaranja malih vrlo brzo rastućih mjehurića (udubljenja) (Soria i Villamiel, 2010; Mason, 1998). Mjehurić se širi tijekom negativnog tlaka te implodira tijekom pozitivnog tlaka stvarajući visoke temperature i tlakove. Tijekom procesa sonifikacije, kada zvučni val stigne do tekućeg medija stvaraju se longitudinalni valovi i područ-

ja promjenjivih kompresija i ekspanzija tlaka (Sala i sur., 1995) što uzrokuju pojavu kavitacije i stvaranja mjehurića plina. Ovi mjehurići imaju veću površinu tijekom ciklusa ekspanzije, te se povećava difuzija plina. Maksimalno je dostignut tamo gdje osigurana ultrazvučna energija nije dovoljna kako bi se zadržala plinska faza u mjehuriću, te se na taj način, pojavljuje brza kondenzacija (Režek Jambrak, 2008). Kondenzirane molekule se sudaraju, stvarajući udarne valove. Ti udarni valovi stvaraju područja vrlo visoke temperature i tlaka, dosežući do 5500 K i 50 MPa. Vruće zone mogu djelovati baktericidno, međutim one su vrlo ograničene i ne utječu na dovoljno veliku površinu, tako da se baktericidni učinak zasniva na promjenama tlaka. Kavitacija uzrokovana promjenama tlaka (stvorenim ultrazvučnim valovima) pokazuje baktericidno djelovanje. Baktericidni učinak uglavnom se zasniva na stanjivanju staničnih membrana, lokaliziranog grijanja i stvaranja slobodnih radikala (Butz i Tauscher, 2002; Fellows, 2000).

Širenje akustičnog vala kroz medij uzrokuje različite promjene od kojih se samo neke mogu objasniti pojedinim mehanizmima. Najznačajniji učinci ultrazvuka su: zagrijavanje, kavitacija, strukturni učinci, kompresija i širenje, turbulencija, čišćenje i drugi.

Općenito, kavitacija u tekućinama može uzrokovati brzo i potpuno odzračivanje; inicirati različite kemijske reakcije stvarajući slobodne kemijske ione (radikale); ubrzati kemijske reakcije poboljšavajući miješanje reaktanata; potaknuti reakcije polimerizacije/depolimerizacije privremenim raspršivanjem agregata ili nepovratnim prekidom kemijskih veza u polimernim lancima; povećati stupanj stvaranja emulzije; poboljšati brzinu difuzije; stvarati visoko koncentrirane emulzije ili jednolične disperzije čestica; pomoći u ekstrakciji tvari kao što su enzimi iz životinjskih, biljnih ili bakterijskih stanica; ukloniti viruse iz zaraženog tkiva; te na kraju, erodirati i slomiti osjetljive čestice, uključujući mikroorganizme (Režek Jambrak, 2008). Kod stabilne i prijelazne kavitacije (rast i raspad mjehurića) odvijaju se i kemijske reakcije oko reaktivnog ili raspadajućeg mjehurića. Tim reakcijama sinteze i drugih reakcija bavi se sonokemija. Kolaps mjehurića rezultira intenzivnim jakim valovima koji mogu značajno promijeniti fizikalno-kemijska svojstva okružujućeg materijala. Kada se ultrazvuk koristi u kombinaciji s konvencionalnim grijanjem, učinak tretmana ultrazvukom se pojačava (npr. homogenizacija mlijeka). Početak kavitacije medija (tj. minimum oscilacije tlaka koji je potreban da uzrokuje kavitaciju) određen je velikim brojem čimbenika (Rahman, 1999). Među njima su: otopljen plin, hidrostatski tlak, specifična toplina tekućine i plina u mjehuriću, te napetost tekućine. Druga, iznimno važna veličina je temperatura, koja se ponaša obrnuto proporcionalno početku kavitacije. Međutim, frekvencija ultrazvuka je odlučujući faktor kavitacije. Kod vrlo visokih frekvencija (iznad 1 MHz) teško je postignuti kavitaciju, a iznad 2,5 MHz nema kavitacije (Sala i sur., 1995).

Mogućnosti primjene ultrazvuka u mesnoj industriji

1. Primjena ultrazvuka visoke snage u homogenizaciji

Homogenizacija je vrlo važan proces mesne industrije u kojem se proizvod usitnjava tako da mu čestice budu što ujednačenije veličine, što manje i da je smjesa takvih čestica stabilna (Mason, 1998). Primjer homogenizacije su različite obarene kobasice i salame.

2. Primjena ultrazvuka visoke snage u salamurenju

Salamurenje je proces u kojem se meso tretira kuhinjskom solju (NaCl) ili solima za salamurenje u cilju da se sačuva održivost proizvoda tako da mu se snižava vrijednosti aktiviteta vode ispod mikrobiološke granične razine. Kod operacije salamurenja proizvoda moguća je vrlo velika pomoć ultrazvuka jer samim procesom ultrazvučnog tretmana, djelovanjem kavitacije dolazi do stvaranja mikro kanalića u samom tkivu mesa i njegovog omekšavanja što dovodi do bržeg, boljeg i ravnomjernijeg raspoređivanja salamure unutar mišićnog tkiva (Carcel i sur., 2007; Jayasooriya i sur., 2004; 2007).

3. Primjena ultrazvuka visoke snage u smrzavanju

Primjena je moguća i prilikom smrzavanja mesa jer po utjecajem jakog ultrazvuka dolazi do skraćivanja vremena između inicijacije kristalizacije i potpune tvorbe leda te se time smanjuje oštećenje stanica (Li i Sun, 2002). U studiji Dolatowski i suradnika (2000) pokazano je da djelovanjem ultrazvuka na meso nakon klanja životinja, a prije zamrzavanja, dolazi do stvaranja većeg broja, malih kristala leda, što omogućuje ravnomjerno i pravilno zamrzavanje, te kasnije pravilno odmrzavanje bez narušavanja strukture mesa.

4. Primjena ultrazvuka visoke snage u ekstrakcijama

Ultrazvuk pomaže proces ekstrakcije narušavajući miofibrile mesa, koji otpuštaju ljepljiv sadržaj povezujući meso i dovodi do veće snage reformiranog proizvoda (Povey i Mason, 1998). Snaga vezanja, kapacitet zadržavanja vode, boja proizvoda i prinos istraživani su nakon tretmana miješanja sa solju, sonifikacije ili oboje (Jayasooriya i sur., 2004, 2007). Uzorci, koji su bili podvrgnuti obojima tretmanima (solju i sonifikaciji) bili su superioriji u svojoj relevantnoj kvaliteti (McDonnell i sur., 2014). Studija o učinku sonifikacije na rolanu šunku pokazala je slične rezultate. Tradicionalna metoda tenderizacije (omekšavanja) mesa mehaničkim udaranjem, koja daje slabu kvalitetu mesa je palatabilnija (ukusnija). Sonifikacija odrezaka isto je pokazana korisnom u omekšavanju mesa (Dolatowski i suradnici, 2000).

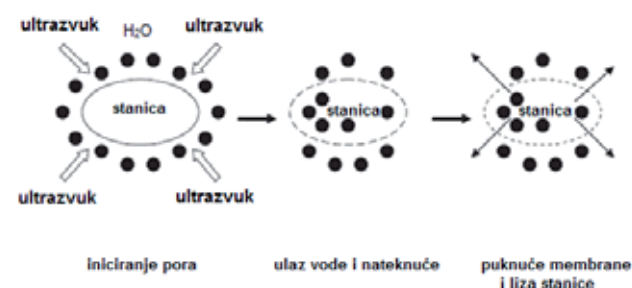
5. Primjena ultrazvuka visoke snage u inaktivaciji mikroorganizama

Uloga ultrazvuka je i potpomognuti proces konzerviranja, tj. pasterizacije proizvoda kod nižih temperatura i kraćeg vremena tretiranja nego kod uobičajenih metoda konzerviranja. Efekt inaktivacije mikroorganizama ultrazvukom pripisuje se stvaranju intracelularne kavitacije te upravo ovi mehanički udari mogu poremetiti stanične

strukturne i funkcionalne komponente do točke cijepanja (lize) stanice (slika 3). Učinak ultrazvuka nije jednako efikasan na mikroorganizme ako se primjenjuje pri sobnim temperaturama (Butz i Tauscher, 2002).

Aplikacije koje koriste kombinacije ultrazvuka sa drugim postupcima konzerviranja su:

- *Manosonifikacija* (MS): kombinacija ultrazvuka i tlaka
- *Termosonifikacija* (TS): kombinacija ultrazvuka i temperature
- *Manotermosonifikacija* (MTS): kombinacija ultrazvuka, temperature i tlaka.



Slika 3. Mehanizam oštećenja stanice izazvan ultrazvukom (Chemat i sur., 2011)

Primjena ultrazvuka u svrhu inaktivacije mikroorganizama započela je 1960-tih godina, nakon što je otkriveno da zvučni valovi koji su se koristili u ratu podmornica uzrokuju pomor riba (Earnshaw i sur., 1995). Prolaskom akustične energije visokog intenziteta kroz čvrsti medij, zvučni val uzrokuje serije brzih i sukcesivnih kompresija i opuštanja, sa brzinama koje ovise o njegovoj frekvenciji. Zbog toga je materijal izložen brzim serijama promjenjivih stezanja i širenja, vrlo nalik neprekidnom stiskanju i opuštanju spužve (Režek Jambrak, 2008).

Upotrijebljena frekvencija tretmana ultrazvukom, proučavana je kod velikog broja grupa. Iako postoje patenti o sistemima ultrazvučne inaktivacije bakterija, Sala i sur. (1995) ustvrdili su da je korištenje ultrazvuka u procesiranju hrane vrlo zanimljiv zadatak. Učinkovitost tretmana ultrazvukom ovisan je o tipu tretiranih bakterija. Mikroorganizmi (pogotovo spore) su relativno rezistentni na učinke, prema tome bili bi potrebni produženi periodi ultrasonifikacije kako bi se pružio siguran proizvod. Ako bi se ultrazvuk koristio u praktičnoj primjeni, najvjerojatnije bi se trebao koristiti u kombinaciji s tretmanom tlakom (manosonifikacija) ili toplinskim tretmanom (manotermosonifikacija). Poboľšano mehaničko cijepanje stanica je razlog boljeg uništavanja bakterija, kada se ultrazvuk kombinira s tlakom ili toplinom.

Prvi rad u ovom području napravili su Ordonez i sur. (1984) koristeći ultrazvuk od 20 kHz i 160 W u kombinaciji s temperaturama u rasponu od 5 do 62 °C. Kombinacija topline i ultrazvuka bila je učinkovitija s obzirom na vrijeme tretiranja i potrošenu energiju, u usporedbi s bilo kojim individualnim tretmanom (Ordonez i sur., 1984). McClements (1995) je predložio da je inaktivacija mikro-

ba koristeći ultrazvuk učinkovita kada se koristi u kombinaciji s drugim metodama dekontaminacije kao što su grijanje, ekstremni pH ili klorifikacija. Procesi sonifikacije, manosonifikacije, termosonifikacije i manotermosonifikacije korišteni su kod velikog broja istraživača (Manas i sur., 2000; Miles i sur., 1995; Raso i sur., 1998; Ordóñez i sur., 1984; Herceg i sur., 2012a; Herceg i sur., 2012b). Inaktivacija mikroorganizama definira se vremenom decimalne redukcije (D) (trajanje tretmana u minutama kojim se broj preživjelih mikroorganizama smanjuje na 1/10 početnog broja), te prati kinetiku reakcije prvog reda. Analogno tome inaktivacija mikroorganizama tijekom termičke obrade prikazana je jednadžbom (2), nakon ultrazvučnog tretiranja (3) i kombinacijom toplinske obrada i ultrazvučnog tretiranja (4):

$$\log \frac{N_t^T}{N_0} = -\frac{t}{D_T} \quad /2/$$

$$\log \frac{N_t^S}{N_0} = -\frac{t}{D_S} \quad /3/$$

$$\log \frac{N_t^{TS}}{N_0} = -\frac{t}{D_{TS}} \quad /4/$$

Budući da se mehanizam inaktivacije mikroorganizama ultrazvukom i toplinom u potpunosti razlikuje Herceg i suradnici (2013) su izradili matematički model za termosonifikaciju (kombinaciju ultrazvuka i toplinske obrade) kako bi se utvrdilo vrijeme decimalne redukcije tijekom termičke obrade i ultrazvučnog tretmana uz pretpostavku da ultrazvuk i temperatura djeluju samostalno (neovisno) i da je uništavanje mikroorganizama toplinom i ultrazvuk prati reakciju kinetike prvog reda. Na taj način logaritamska redoslijed smrti mikroorganizama može se izraziti sljedećim jednadžbama: (navedeni model je razvijen na osnovu modela koje su razvili Pagán i sur. (1999) i Raso i sur. (1998):

$$\frac{N_t^{TS}}{N_0} = \frac{N_t^S}{N_0} \cdot \frac{N_t^T}{N_0} \quad /5/$$

$$\log \frac{N_t^{TS}}{N_0} = \log \left(\frac{N_t^S}{N_0} \cdot \frac{N_t^T}{N_0} \right) \quad /6/$$

$$\log \frac{N_t^{TS}}{N_0} = \log \frac{N_t^S}{N_0} + \log \frac{N_t^T}{N_0} \quad /7/$$

$$-\frac{t}{D_{TS}} = -\frac{t}{D_S} - \frac{t}{D_T} \quad /8/$$

$$\frac{1}{D_{TS}} = \frac{1}{D_S} + \frac{1}{D_T} \quad /9/$$

$$\frac{1}{D_{TS}} = \frac{D_T + D_S}{D_S \cdot D_T} \quad /10/$$

$$D_{TS} = \frac{D_T \cdot D_S}{D_T + D_S} \quad /11/$$

gdje je N_0 - broj mikroorganizama prije tretmana N_t^T - je broj mikroorganizama nakon vremena t i termičke obrade, N_t^S - je broj mikroorganizama nakon vremena t i obrade ultrazvukom, N_t^{TS} - je broj mikroorganizama nakon vremena t i obrade ultrazvukom i toplinom (termosonifikacije), D_T - je decimalno vrijeme redukcije tijekom termičke obrade (s), D_S - je decimalno vrijeme redukcije tijekom ultrazvučne obrade (s), D_{TS} - je decimalno vrijeme redukcije tijekom obrade ultrazvukom i toplinom (termosonifikacije) (s).

6. Primjena ultrazvuka visoke snage u emulgiranju

Jedna od najranijih upotreba ultrazvuka u procesiranju je emulgiranje (Povey i Mason, 1998). Ako mjehurić kolapsira blizu fazne granice dviju tekućina koje se ne miješaju rezultirajući val može osigurati učinkovito miješanje slojeva. Stabilne emulzije stvorene ultrazvukom koristile su se u tekstilnoj, kozmetičkoj, farmaceutskoj i prehrambenim industrijama. Takve emulzije su obično stabilnije od onih konvencionalno proizvedenih i obično zahtijevaju vrlo malo, ili nimalo surfaktanata. Dobivene su emulzije sa manjim veličinama kapljica i užom distribucijom veličine, u usporedbi s drugim metodama. Stupanj emulgiranja kod takvih materijala može biti procijenjen mjerenjem brzine ultrazvuka u povezanosti s atenuacijom. Kombinacija mjerenja brzine i atenuacije obećava kao metoda analize jestivih masti i ulja, te za određivanje stupnja kristalizacije i topljenja u disperziranim kapljicama emulzije (Režek Jambrak, 2008).

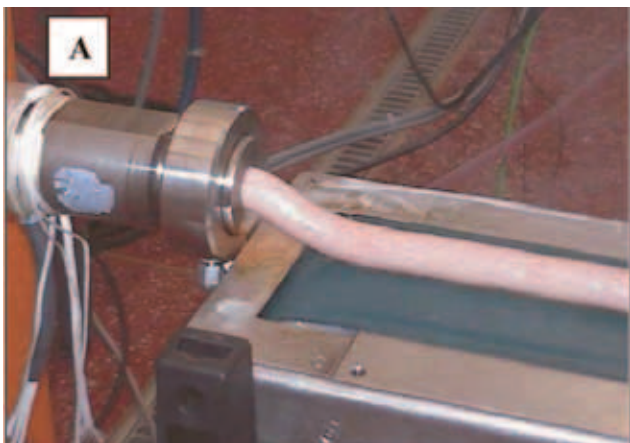
7. Utjecaj ultrazvuka na teksturu mesa

U studiji Ozuna i suradnika (2013) primjena ultrazvuka posljedično dovodi do pojačane kinetike usoljavanja čime se povećava učinkovito povećava vlaga i difuzija NaCl. Povećanje udjela NaCl u mesu dovodi do promjene u teksturi mesa, te visok udio NaCl dovodi do tvrdog mesa. Mikrostrukturna analiza pokazala je da primjena ultrazvuka visoke snage tijekom soljenja donijela odgovarajuće učinke u mikrostrukтури mesa, te i na više homogeniju distribuciju NaCl u mesu. Dakle, ultrazvuk se može smatrati kao potencijalna tehnologija s kojom se može ubrzati proces soljenja (Ozuna i sur., 2013).

8. Primjena ultrazvuka niske snage u procesu punjenja nadjeva

Primjena ultrazvuka niske snage za razliku od primje-

ne ultrazvuka visoke snage ima drugačiju svrhu i upotrebu. Ultrazvuk niske snage koristi više frekvencije i može se koristiti prilikom utvrđivanja sastava mesa (udjela masti, debljine masnog tkiva), prilikom određivanja količine nadjeva prilikom punjenja crijeva kod proizvodnje kobasica, prilikom određivanja udjela minerala u mesu, za određivanja udjela vode i druge svrhe. Na slici 4. prikazan je primjer korištenja ultrazvuka niske snage prilikom punjenja nadjeva u proizvodnji kobasica (Knorr i suradnici, 2004).



Slika 4. Slika proizvodnje kobasica potpomognuta ultrazvukom koji omogućuje pravilno punjenje (tipa Frankfurter), (Knorr i sur., 2004)

9. Svjetski proizvođači opreme za procesiranje hrane ultrazvukom visoke i niske snage

QSonica Sonicators (<http://www.sonicator.com>); Hielscher (<http://www.hielscher.com>); Etrema (<http://www.etrema.com>); Lincis (http://www.lincis.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=159:ultratender); Bandelin (<http://www.bandelin.com>); Newtech (<http://www.newtech-ltd.co.uk>) i drugi. Info (<http://www.sonochemistry.info>);

Zaključci

Ultrazvuk se pokazao kao vrlo zanimljiva i važna tehnika u prehrambenoj tehnologiji te procesiranju mesa zbog obećavajućih učinaka kod konzerviranja hrane. Kao jedna od naprednijih tehnologija, moguće ga je primijeniti kod kreiranja procesa koji je jednostavan. Također je to i ciljani proces poboljšanja kvalitete i sigurnosti procesirane hrane te pruža potencijal za poboljšanje postojećih procesa kao i stvaranje novih. U radu su prikazane neke od mogućnosti primjene ultrazvuka visoke snage u procesiranju mesa: emulgiranje i homogenizacija, ekstrakcija, inaktivacija mikroorganizama, poboljšanje smrzavanja, sušenja, promjene teksture mesa, potpomognuto (ubrzano) salamurenje itd. Ultrazvučna kavitacija, mikrostrujanja i lokalizirana zagrijavanja omogućuju stvaranje proizvoda visoke kvalitete i produžene trajnosti. Također, ultrazvuk omogućuje brže dozrijevanje mesa.

Gubitak kvalitete povezan je sa deformacijom biljnih i životinjskih struktura, modifikacijom makromolekula i

stvaranjem novih tvari iz reakcija kataliziranih toplinom. Ultrazvuk kao jedna od metoda ne-toplinskog tretiranja prehrambenih proizvoda pruža mogućnost smanjenja ovih učinaka. Moguća primjena ultrazvuka visoke snage omogućuje primjenu ultrazvuka kako bi se sposobnost oštećenja stanice koristila u sistemima konzerviranja – uništavanje mikroorganizama. Ultrazvuk visoke snage može se koristiti s ciljem inaktivacije enzima ili u drugom slučaju aktivacije pojedinog procesa koji je kataliziran nekim enzimima u ovisnosti o primijenjenoj frekvenciji, snazi i duljini trajanja tretmana ultrazvukom.

Literatura

- Ashokkumar, M., S. Kentish (2011): The physical and chemical effects of ultrasound. U: *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, (Feng, H., Barobosa-Cánovas, G., Weiss, J., ured.), Springer, New York, USA, str. 1-105.
- Awad, T.S., H.A. Moharram, O.E. Shaltout, D. Asker, M.M. Youssef (2102): Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International* 48 (2), 410-427.
- Butz, P., B.Tauscher. (2002): Emerging technologies: chemical aspects. *Food Research International* 35 (2/3), 279- 284.
- Carcel, J., J. Benedito, J. Bon, A. Mulet (2007): High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science* 76, 611-619.
- Chemat, F., F. Zill-e-Huma, M.K. Khan (2011): Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry* 18, 813-835.
- Dolatowski, Z. J., Stadnik, D. Stasiak (2007): Applications of ultrasound in food technology. *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria Journal* 6 (3), 89-99.
- Earnshaw, R. G., J. Appleyard, R.M. Hurst (1995): Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *International Journal of Food Microbiology* 28, 197-219.
- Fellows, P. (2000): *Food Processing Technology - Principles and Practice* (2 izdanje), Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Herceg Z., E. Juraga, B. Sobota Šalamon, A. Režek Jambrak (2012a): Inactivation of mesophilic bacteria in milk by means of high intensity ultrasound using response surface methodology, *Czech Journal of Food Science* 30, 108-117.
- Herceg Z., A. Režek Jambrak, V. Lelas, S. Mededovic Thagard (2012b): The effect of high intensity ultrasound treatment on the amount of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in milk, *Food Technology and Biotechnology* 50,46-52.
- Herceg Z., K. Markov, B. Sobota Šalamon, A. Režek Jambrak, T. Vukušić, J. Kaliterna (2013): High Intensity Ultrasound against Spoilage Bacteria, *Food Technology and Biotechnology*, 51, 352-359.
- Jayasooriya S.D., B.R. Bhandari, P. Torley, B.R. D'Arcy (2004): Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *International Journal of Food Properties* 7, 2, 301-319.
- Jayasooriya S.D., P. Torley, B. R. D'Arcy, B.R. Bhandari (2007): Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Science* 75, 628-639.
- Knorr, D., M. Zenker, V. Heinz, D.U. Lee (2004): Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science & Technology* 15, 261-266.
- Li, B, D.W. Sun (2002): Effect of power ultrasound on freezing rate during immersion freezing. *Journal of Food Engineering* 55(3), 277-282.
- Lima, M., S.K. Sastry (1990): Influence of fluid rheological properties and particle location on ultrasound-assisted heat transfer between liquid and particles. *Journal of Food Science* 55, 1112-1115.
- Manas, P., R. Pagan, J. Raso, F.J. Sala, S. Condon (2000): Inactivation of *Salmonella Typhimurium*, and *Salmonella Senftenberg* by ultrasonic waves under pressure. *Journal of Food Protection* 63 (4), 451- 456.
- Mason, T. J. (1998): *Power ultrasound in food processing - the way forward*. U: *Ultrasound in Food Processing*. Povey, M. J. W. i Mason, T. J. (ured.), Blackie Academic & Professional: London.
- McClements, D. J. (1995): Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science & Technology*, 6, 293.
- McDonnell, C.K, P. Allen, C. Morin, J.G. Lyng (2014): The effect of ultrasonic salting on protein and water-protein interactions in meat. *Food Chemistry* 147, 245-251,
- Miles, C.A., M.J. Morley, W.R. Hudson, B.M. Mackey (1995): Principles of separating microorganisms from suspensions using ultrasound. *Journal of Applied Bacteriology* 78, 47- 54.
- Moulton, K.J., L.C. Wang (1982): A pilot-plant study of continuous ultrasonic extraction of soybean protein. *Journal Food Science* 47, 1127.
- O'Donnell, C. P., B.K. Tiwari, P. Bourke, P.J. Cullen (2010): Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science and Technology* 21, 358-367.
- Ordóñez, J.A., B. Sanz, P.E. Hernandez, P. Lopez-Lorenzo (1984): A note on the effect of combined ultrasonic and heat treatments on the survival of thermophilic streptococci. *Journal of Applied Bacteriology*

54, 175–177.

Ozuna C., A.Puig, J.V. Garcia-Perez, A. Mulet, J.A. Carcel (2013): Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering* 119, 84–93.

Págan R., P. Mañas, J. Raso, S. Condon (1999): Bacterial resistance to ultrasonic waves under pressure at nonlethal (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures, *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 297–300.

Povey, M. J. W., T.J. Mason (1998): *Ultrasound in Food Processing*, Blackie Academic & Professional, London.

Rahman, M.S. (1999): *Light and sound in food preservation*. U: *Handbook of Food Preservation*. Rahman, M.S. (ured.), Marcel Dekker: New York, 673–686.

Raso, J., P. Pagan, S. Condon, F.J. Sala (1998): Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 465.

Režek Jambak A. (2008): Utjecaj ultrazvuka na fizikalna i funkcionalna svojstva proteina sirutke. Doktorska disertacija, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb.

Režek Jambak, A., V. Lelas, Z. Herceg, M. Badanjak, Z. Werner (2010a): Primjena ultrazvuka visoke snage u sušenju voća i povrća. *Kemija u industriji* 59 (4), 169–177.

Režek Jambak, A., Z. Herceg, D. Šubarić, J. Babić, M. Brnčić, S. Rimac Brnčić, T. Bosiljkov, D. Čvek, B. Tričalo, J. Gelo (2010b): Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers* 79 (1), 91–100.

Režek Jambak, A., T.J. Mason, V. Lelas, L. Paniwnyk, Z. Herceg (2014): Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins. *Journal of food engineering* 121, 15–23.

Roberts, R. T. (1993): High intensity ultrasonics in food processing.

Chemistry and Industry, FEB, 15(4), 119–121.

Sala, F. J., J. Burgos, S. Condon, P. Lopez, P. J. Raso (1995): Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. U: *New Methods of Food Preservation*. Gould, G. W. (ured.), Blackie Academic & Professional: London.

Sastry, S. K., G. Q. Shen, J.L. Blaisdell (1989): Effect of ultrasonic vibration on fluid-to particle convective heat transfer coefficients. *Journal of Food Science* 54, 229.

Soria, A. C., M. Villamiel (2010): Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of foods: a review. *Trends in Food Science and Technology* 21, 323–331.

Suslick, K. S. (1988): *Ultrasonics: its Chemical, Physical and Biological Effects*. VHC Publishers, New York.

Thakur, B. R., P.E. Nelson (1997): Inactivation of lipoxygenase in whole soy flour suspension by ultrasonic cavitation. *Die Nahrung* 41, 299.

Vercet, A., P. Lopez, J. Burgos (1997): Inactivation of heat-resistant lipase and protease from *Pseudomonas fluorescens* by manothermosonication. *Journal of Dairy Science* 80, 29.

Villamiel, M., P. de Jong (2000a): Inactivation of *Pseudomonas fluorescens* and *Streptococcus thermophilus* in Tryptocase Soy Broth and total bacteria in milk by continuous-flow ultrasonic treatment and conventional heating. *Journal of Food Engineering* 45, 171–179.

Villamiel, M., P. de Jong (2000b): Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins, and native enzymes of milk. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 48, 472–478.

Wang, L., Ya-Jane Wang (2004): Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound. *Journal of Cereal Science* 39 (2), 291–296.

Dostavljeno: 13.6.2014.

Prihvaćeno: 21.7.2014.

Möglichkeiten der Anwendung des Ultraschalls von hoher Intensität in der Fleischindustrie

Zusammenfassung

Nahrungskonservierung mittels höherer Temperatur durch eine kurze Zeit ist immer noch die üblichste Art des Nahrungskonservierungsprozesses. In meisten Fällen sind Prozessvariablen und Kontrollen aus den empirischen Untersuchungen der Temperaturwirkung und der Zeit der Aussetzung auf die Kinetik des mikrobiellen Überlebens gezogen worden, mit wenig Aufmerksamkeit auf die Nahrungsqualität, die mit Thermaleffekten auf die Nahrungszusammensetzung und Nahrungsstruktur verbunden ist. Der Qualitätsverlust ist mit der Deformation der Pflanz- und Tierstrukturen, mit der Modifikation der Makromolekülen und Entstehung von neuen Substanzen aus den durch den Gas katalysierten Reaktionen, verbunden. Der Ultraschall, als eine neue Methode des nicht-thermalen Behandelns der Ernährungstoffe, gibt neue Möglichkeiten der Senkung von diesen Wirkungen. Hohe Temperaturen, denen mikrobielle Zellen ausgesetzt sind, werden nicht nur ein bestimmtes Ziel beeinflussen, weil die Wärmeenergie in der Zelle ein integraler Teil des gesamten komplexen Systems ist. Die Wärmeenergie hat Einfluss auf eine große Zahl der Zellenkomponenten, einschließlich Strukturen, Moleküle und Reaktionen in der Zelle. Diese Ziele sichern die Möglichkeit des Ultraschalleinsatzes, damit bei Konservierungssystemen die Fähigkeit der Zellenbeschädigung benutzt wird – die Vernichtung von Mikroorganismen. Der Ultraschall von hoher Intensität kann mit dem Ziel der Inaktivierung von Enzymen benutzt werden, oder im anderen Falle mit dem Ziel der Aktivierung des einzelnen Prozesses, der einigen Enzymen katalysiert ist, in Abhängigkeit von der erhaltenen Frequenz, der Intensität und der Dauer der Behandlung mit dem Ultraschall. Die Möglichkeit der Anwendung von Ultraschall findet man in folgenden Operationen: Extraktion, schließt die Mischung von Fleischstücken mit Wasserflüssigkeit, die Salz enthält, ein. Der Ultraschall hilft beim Extraktionsprozess durch das Stören der Fleischmiofibrille, die bei Fleischverbindung ein klebendes Stoff auslösen und zu einer höheren Kraft des reformierten Erzeugnisses führen. Die Anwendung des Ultraschalls von hoher Intensität findet man auch bei Homogenisierung, Pöckeln, Einfrieren und vorhin angeführten Konservierung vor.

Schlüsselwörter: Fleischkonservierungsprozess, Ultraschall von hoher Intensität, Konservierung

Las posibilidades de aplicación del ultrasonido de alta potencia en la industria cárnica

Resumen

La conservación de la comida mediante la temperatura aumentada en un corto período de tiempo todavía es el modelo más usado de la conservación. En la mayoría de los casos, las variables del proceso y los controles fueron hechos a base de la investigación empírica sobre los efectos de la temperatura y del tiempo de exposición en la cinética de supervivencia microbiana, con la atención puesta en la calidad de la comida en relación con los efectos termales sobre la composición y la estructura de la comida. La pérdida de la calidad está relacionada con las deformaciones de las estructuras vegetales y animales, la modificación de las macromoléculas y la creación de nuevas sustancias durante las reacciones catalizadas por el calor. El ultrasonido es un método nuevo del tratamiento sin calor de los productos alimenticios, que proporciona la disminución de los efectos sobredichos. Las altas temperaturas a las que están expuestas las células microbianas no tendrán efecto solamente sobre un objetivo específico porque la energía térmica de la célula es una parte integral de un sistema complejo. La energía térmica actúa sobre un vasto número de componentes celulares, incluidas las estructuras, moléculas y reacciones dentro de la célula. Estos objetivos dejan lugar para el uso del ultrasonido combinado con la posibilidad de laceración celular como el método de conservación de la comida – con el fin de destruir los microorganismos. El ultrasonido de alta potencia puede ser usado para inactivar los enzimas o, en otro caso, en la activación de procesos específicos catalizados por algunos enzimas dependientes de la frecuencia aplicada, la potencia y duración del tratamiento por el ultrasonido. Las posibilidades de aplicación del ultrasonido de alta potencia son siguientes: extracción, incluida la mezcla de la carne con el agua conteniendo la sal. El ultrasonido ayuda en el proceso de la extracción debilitando las miofibrillas, que sueltan el contenido pegajoso que enlaza la carne y da más solidez al producto reformado. El ultrasonido de alta potencia se usa también en la homogenización, salmuera, congelación y la conservación antedicha.

Palabras claves: procesamiento de carne, ultrasonido de alta potencia, conservación