

Mogućnost primjene ultrazvuka visokog intenziteta u mljekarskoj industriji

Zoran Herceg*, Mladen Brnčić, Anet Režek Jambrak, Suzana Rimac Brnčić, Marija Badanjak, Irma Sokolić

Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb

Prispjelo-Received: 22.11.2008.
Prihvaćeno-Accepted: 05.02.2009.

Sažetak

U posljednje vrijeme mnoga istraživanja usmjerena su na razvoj novih postupaka obrade hrane sa ciljem dobivanja prehrambenih proizvoda visoke kvalitete. Dosadašnji rezultati primjene ultrazvuka visokog intenziteta pokazali su da se ova tehnika može uspješno primijeniti u svrhu smanjenja broja ili uništenja mikroorganizama, pri čemu se u znatnoj mjeri može uštedjeti energija i skratiti vrijeme trajanja procesa proizvodnje, te primijeniti blaži uvjeti toplinske obrade, a pritom dobiti proizvod veće nutritivne vrijednosti. Shodno tome, pokazalo se da je obrada ultrazvukom visokog intenziteta potencijalno vrlo uspješan postupak obrade mlijeka, posebno u kombinaciji s povišenom temperaturom.

Ključne riječi: mlijeko, ultrazvuk, mikroorganizmi

Uvod

Današnji potrošači pred prehrambenu industriju postavljaju čitav niz novih zahtjeva kojima ona nastoji udovoljiti. Traži se da hrana bude zdravstveno ispravna, nutritivno vrijedna, ukusna i prikladna za brzu konzumaciju. Drugim riječima, potrošači danas sve više traže hranu visoke kakvoće koja je po svojim organoleptičkim značajkama što sličnija sirovoj neprerađenoj hrani, tj. polaznoj sirovini. Takva hrana poznata je pod nazivom "minimalno obrađena hrana" (LeLas, 2006.).

Minimalno obrađena hrana je ona u kojoj su u najvećoj mogućoj mjeri sačuvane izvorne organoleptičke i nutritivne značajke sirovine. Minimalnu obradu moguće je primijeniti na velikom broju prehrambenih proizvoda. Prehrambena industrija trenutno pokazuje veliko zanimanje za razvoj postupaka koji omogućuju minimalnu obradu hrane, a mogle bi unaprijediti ili zamijeniti standardne metode konzerviranja koje su trenutno u primjeni. Novi načini obrade hrane u potpunosti mogu zamijeniti pojedine standardne operacije, pri čemu se dobivaju proizvodi bolje kvalitete, postiže se

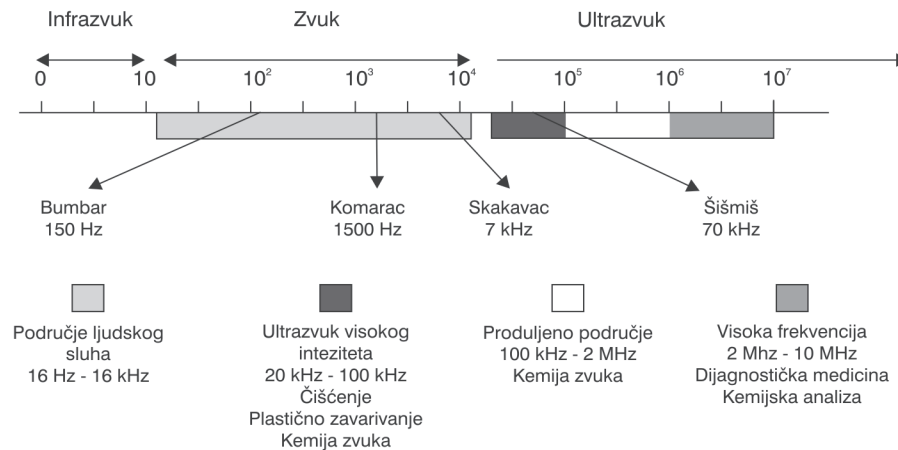
ušteda energije, a skraćuje se i trajanje tehnološkog procesa (Barbosa-Cannovas i sur., 2005.).

Novi postupci obrade hrane koji se mogu primjenjivati za obradu mlijeka su visoki hidrostatski tlak, ultrazvuk visokog intenziteta i pulsirajuća električna polja. Zajedničko je svim navedenim postupcima da se obrada materijala odvija pri sobnoj temperaturi, odnosno da dolazi do neznatnog povišenja temperature kao posljedice djelovanja ultrazvuka visokog intenziteta, te da sam proces traje relativno kratko vrijeme (od 1 do 10 minuta). U ovom radu dan je prikaz dosadašnjih spoznaja o obradi mlijeka ultrazvukom visokog intenziteta te o mogućnostima primjene navedenog postupka u industrijskim razmjerima (Herceg, 2009.).

Ultrazvuk niskog i visokog intenziteta

Ultrazvuk je zvuk frekvencije iznad 20 kHz. Budući da ljudsko uho može čuti zvukove čija je frekvencija u rasponu od 16 Hz do 16 kHz, frekvencija ultrazvuka previsoka je za ljudsko slušno područje (Slika 1).

*Dopisni autor/Corresponding author: Tel./Phone: +385 1 4605 037; E-mail: zherceg@pbf.hr



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

Fig. 1: Frequency ranges of sound (Mason, 1998)

Primjena ultrazvuka u prehrambenoj industriji, znanosti i tehnologiji sve se više razvija u posljednjih dvadesetak godina te se s obzirom na primjenu može podijeliti u dva glavna polja:

- **ULTRAZVUK NISKOG INTENZITETA** - Prostire se u frekvenzijskom rasponu od 2 MHz na više. To je nerazorna tehnika sa značajkama visokih frekvencija i niskih intenziteta (manje od 1 W/cm²), koja ne uzrokuje fizičke niti kemijske promjene u svojstvima materijala kroz koji prolazi ultrazvučni val. Koristi se kao analitička tehnika za kontrolu obrade hrane, mjerenjima teksture, sastava, viskoznosti, brzinu protjecanja, kontrolu pakiranja, određivanja razine kapljevine u bačvama ili tankovima, koncentracije tvari u hrani. (McClements, 1995.; Mason, 1998.).
- **ULTRAZVUK VISOKOG INTENZITETA** - frekvencije od 20 do 100 kHz uz prošireno područje do 2 MHz (McClements, 1995.; Mason, 1998.) te visokih intenziteta (u rasponu od 1 do 1000 W/cm²), može uzrokovati fizikalne promjene materijala te određene kemijske promjene u materijalima na kojima je primijenjen. Većina istraživanja temelji se na frekvenzijskom području od 20 kHz do 40 kHz, što se objašnjava najučinkovitijim djelovanjem u smislu djelovanja kavitacija. Trenutno se koristi za čišćenje, odzračivanje tekućina, homogenizaciju tekućina, sušenje, ekstrakciju, destilaciju i uklanjanje nepoželjnih mikroorganizama. Smatra se potencijalnim tehnološkim postupkom netoplinske obrade hrane, budući da može uzrokovati eliminaciju enzima i mikroorganizama, kao i poboljšati stvaranje emulzija i disperzija ili promociju određenih kemijskih reakcija.

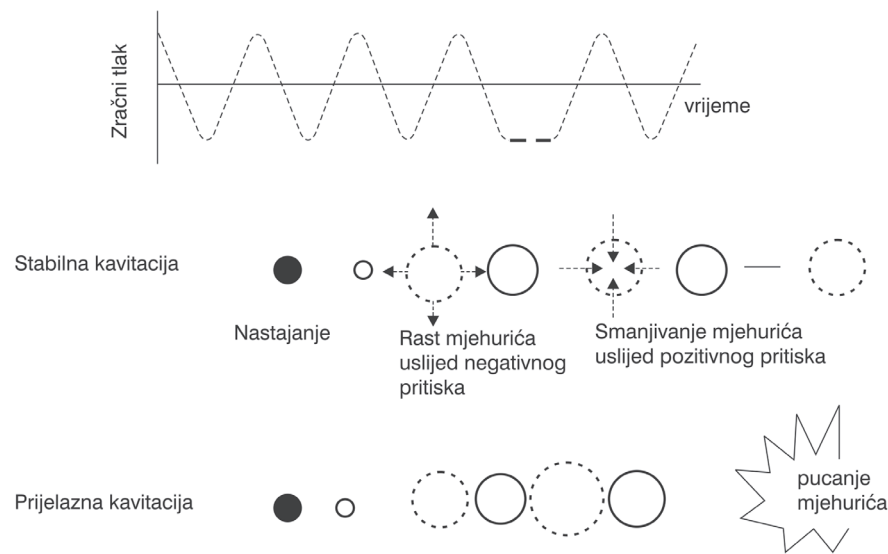
Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri inaktivaciji mikroorganizama

Primjena ultrazvuka u svrhu inaktivacije mikroorganizama započela je 1960-ih godina, nakon što je otkriveno

da zvučni valovi koji su se koristili u ratu podmornica uzrokuju pomor riba (Earnshaw i sur., 1995.). Kavitacije uzrokovane promjenama tlaka (stvorenim ultrazvučnim valovima) mogu djelovati baktericidno. Baktericidni učinak uglavnom se zasniva na stanjivanju staničnih membrana, lokaliziranoga grijanja i stvaranju slobodnih radikala (Butz i Tauscher, 2002.; Fellows, 2000.). Tijekom djelovanja ultrazvuka visokog intenziteta, kada se zvučni val prostire tekućim medijem, stvaraju se longitudinalni valovi i područja promjenjivih kompresija i ekspanzija tlaka (Sala i sur., 1995.), što uzrokuje pojavu kavitacije i stvaranja mjehurića plina (Slika 2). Ovi mjehurići imaju veću površinu tijekom ciklusa ekspanzije pa 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. Kondenzirane molekule se sudaraju stvarajući udarne valove (Slika 3). 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. U mlječnoj industriji ultrazvuk visokog intenziteta može se koristiti za uklanjanje nepoželjnih mikroorganizama, određivanje pravilne frakcije proteina sirutke za različite vrste daljnje obrade, npr. kod prosijavanja uz dodatak ultrazvučnog prstena, homogenizaciju mlijeka, rezanje npr. sireva i sl. (Herceg i sur., 2004.; Brnčić i sur., 2008.).

Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na sastojke u mlijeku

Dosadašnje spoznaje o utjecaju ultrazvuka visokog intenziteta na osnovne sastojke mlijeka upućuju na to da bi se ova tehnika mogla uspješno koristiti kao prikladna zamjena za pasterizaciju mlijeka ili za daljnju obradu, npr. proizvodnju



Slika 2: Stabilna i prijelazna kavitacija (Kuijpers i sur., 2002.)
 Fig. 2: Stable and transient cavitation (Kuijpers i et al., 2002)

sira. Kako nije primijećeno smanjenje udjela osnovnih sastojaka mlijeka, ultrazvučna obrada ne bi trebala negativno djelovati na prinos mliječnih proizvoda koji koriste mliječne proteine ili mliječnu mast.

Međutim, primijećeno je povećanje udjela masti u mlijeku nakon obrade ultrazvukom, što je objašnjeno kao rezultat pucanja membrana nakupina mliječne masti pod utjecajem ultrazvuka, stoga je moguće da ultrazvuk posjeduje i učinak homogenizacije (Mason, 1998.).

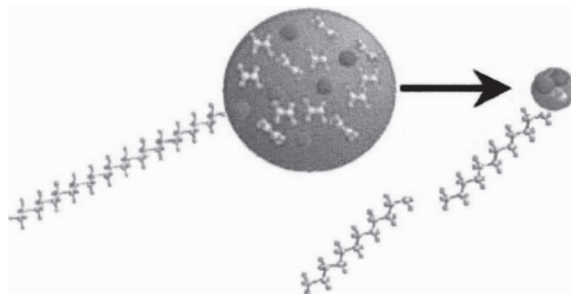
Također, utvrđeno je da obrada ultrazvukom značajno smanjuje broj somatskih stanica u mlijeku. Smanjenje somatskih stanica nakon obrade ultrazvukom neće poboljšati kvalitetu mlijeka koja se povezuje s njihovim visokim sadržajem. Zato je za industriju mliječnih proizvoda važno da uvijek nabavlja mlijeko najveće moguće kvalitete, s obzirom na to da nikakvom preradom mlijeka nije moguće kompenzirati sirovo mlijeko niže kvalitete (Mason, 1996.; Povey and Mason, 1998.).

Kada je riječ o kontroli sigurnosti hrane, mora se pronaći test ekvivalentan testu fosfataze koji se koristi za određivanje učinkovitosti pasterizacije. Ovaj "parametar kontrole" treba imati mogućnost određivanja učinkovitosti ultrazvučnog procesa u smislu inaktivacije mikroorganizama. Kako bismo bili u mogućnosti uvesti ultrazvučnu obradu kao samostalan proces tijekom obrade mlijeka, neophodno moramo imati brz i pouzdan test za utvrđivanje mikrobiološke sigurnosti proizvoda. Rješenje ne mora biti na enzimskoj osnovi, ali mora biti jednostavno, točno i zahtijevati minimum specijalizirane opreme kako bi moglo biti uspješno primijenjeno kao rutinska analiza u laboratorijima mliječne industrije.

Primjena tehnike kombinacije topline i ultrazvuka (T/UZ) pri obradi mlijeka

Dosadašnja istraživanja utjecaja ultrazvuka visokog intenziteta pri inaktivaciji mikroorganizama prisutnih u mlijeku, ako se tehnika ultrazvuka koristila kao jedini proces obrade, nisu uvijek rezultirala uklanjanjem svih živih stanica mikroorganizama (Mason i sur. 1996.). Isto tako, vremena obrade bila su dugotrajna (za inaktivaciju kompletne mikroflore), što proces čini manje primjenjivim. Zato je procijenjeno da je ultrazvuk neophodno koristiti drugom postojećom tehnikom (T/UZ) kako bi se mliječnoj industriji omogućila praktična i učinkovita alternativa pasterizaciji. Većina tvornica za preradu mlijeka ima sustav za toplinsku obradu, kako bi dodatak ultrazvučne tehnike mogao voditi do poboljšanja ukupne kvalitete toplinski obrađenog mlijeka. To bi zahtijevalo prihvatljive početne investicijske troškove, a rezultiralo bi velikom prednošću u vidu boljšeg i sigurnijeg konačnog proizvoda. Toplinska obrada predložena je kao metoda za dopunjavanje ultrazvučnog procesa, jer se često koristi u industriji mlijeka. Kombinacija ultrazvuka i topline trebala bi rezultirati proizvodom s duljim rokom trajanja te bi čak mogla i smanjiti potrebno vrijeme obrade, što bi dovelo do smanjenja troškova proizvodnje (Singh i Heldman, 2001.).

U nastojanju da se smanji vrijeme obrade, ispitana je kombinacija toplinske obrade i ultrazvučnog procesa. Kombinacijom djelovanja ultrazvuka visokog intenziteta i topline pri obradi mlijeka na 50 °C smanjena je samo D-vrijednost za *Lactobacillus acidophilus*, dok kod drugih mikroorganizama nije bilo značajnijih promjena. Temperatura od 50 °C pokazala se pre niskom za poboljšanje učinkovitosti



Slika 3: Shematski prikaz reakcija sonokemije koje se događaju oko raspadajućeg mjehurića i u njemu (Kuijpers i sur., 2002.)
Fig. 3: Schematic appearance of sonochemist reactions in and around imploded bubbles (Kuijpers et al., 2002)

ultrazvuka, pa su daljnja ispitivanja provedena pri temperaturama pasterizacije odnosno pri 60 °C i 72 °C (Sala i sur., 1995.).

Metodom T/UZ na 60 °C nije postignuto uklanjanje svih živih stanica mikroorganizma. Dobiveni podaci pokazali su da ta metoda može dati završni proizvod koji je u skladu s Pravilnikom o kakvoći mlijeka i mliječnih proizvoda (pasterizirano mlijeko sa standardnim brojem kolonija manjim od 50 000 cfu/mL), ali ovi rezultati vrijede samo u slučaju ako je sirovo mlijeko za tretman bilo standardnog broja kolonija manjeg od 200 000 cfu/mL (Sala i sur., 1995.; Oliveira i Oliveirana, 1999.). Dosadašnje spoznaje jasno upozoravaju da je moguće proizvesti mlijeko sa značajno kraćim vremenom uključivanja ultrazvuka uz postojeći proces toplinske obrade na 60 °C. Skraćivanje vremena pokazalo bi se ekonomski isplativim jer bi bilo moguće proizvesti veće količine mlijeka i tako smanjiti troškove procesa obrade.

Pri primjeni T/UZ tehnike na 70 °C došlo se do spoznaje da je obrada u tim uvjetima najučinkovitija te da djeluje na sve testirane mikroorganizme (Oliveira i Oliveirana, 1999.).

Uspjesi koji su postignuti pri uklanjanju mikroorganizama korištenjem tehnike kombiniranja dvaju procesa (T/UZ) pri temperaturi od 70 °C potvrđuju ispravnost ovakve obrade mlijeka. Ovako obrađeno mlijeko na istoj temperaturi kao i pri standardnoj pasterizaciji (metodom obrade visoke temperature - kratkog vremena zadržavanja ili HTST*) ne bi sadržavalo vegetativne stanice te bi imalo prednost duljeg roka trajanja, uz minimalnu obradu. Obrada ultravisokim temperaturama (UHT) općenito se koristi za uklanjanje svih živih stanica iz mlijeka, ali se ipak za UHT mlijeko smatra da ima tzv. kuhani okus. Proces T/UZ eliminirao bi neželjene posljedice procesa UHT (okus i cijena) i proizveo sličan proizvod u smislu sadržaja mikroorganizama (Sala i sur., 1995.).

Zaključak

Dosadašnje spoznaje o primjeni ultrazvuka u industriji mlijeka upućuju na činjenicu da ultrazvuk kao samostalan

postupak nije u mogućnosti osigurati komercijalnu sterilnost proizvoda, no u kombinaciji s toplinom (T/UZ) može se preporučiti za provedbu u industriji mliječnih proizvoda. S manjim izmjenama, postojeća tvornica s HTST pasterizacijom mogla bi proizvoditi završni proizvod usporedan s UHT mlijekom.

Do današnjeg dana nedostatak prikladne opreme i strategije prenošenja na pogonsku proizvodnju spriječile su primjenu T/UZ tehnike u industrijske svrhe. Stoga je u budućnosti potrebno provesti dodatna istraživanja u cilju industrijske primjene T/UZ tehnike za uklanjanje nepoželjnih mikroorganizama. Jedna značajka koja zahtijeva dodatna istraživanja jest činjenica da sustav mora biti koncipiran tako da omogući maksimalan kontakt između mlijeka i zone "kavitacije". Bilo bi korisno istražiti mogućnost korištenja višestrukih ultrazvučnih sonda s različitim pokretačkim frekvencijama. Obrađujući mlijeko s frekvencijama ultrazvuka u području od 20 do 100 kHz, mogao bi se znatno smanjiti udio mikroorganizama "osjetljivih" na ultrazvuk.

Possibility of application high intensity ultrasound in milk industry

Summary

Recently, a lot of investigations have been focused on development of the novel food processing techniques with the aim to obtain the high quality food products. High intensive ultrasound applied to the milk can destroy some microorganisms and save energy and process time significantly, using milder thermal treatment and obtaining product with higher nutritive value. Therefore, ultrasound treatment has proved to be potentially very successful technique of milk sterilization, particularly in combination with increased temperature.

Key words: milk, ultrasound, microorganisms

HTST* - U upotrebi se uvijek koristi engleska kratica (High temperature - short time)

Literatura

1. Barbosa-Canovas, G.V., Tápia, M.S., Cano, M.P. (2005): *Novel Food Processing Technologies*, CRC Press, Boca Raton.
2. Brnčić, M., Karlović, S., Bosiljkov, T., Tripalo, B., Ježek, D., Cugelj, I., Obradović, V. (2008): Obogaćivanje ekstrudiranih proizvoda proteinima sirutke, *Mljekarstvo* 58 (3) 275-295.
3. Butz, P., Tacher, B. (2002): Emerging technologies: chemical aspect, *Food Research International* 35 (2/3) 279-284.
4. Earnshaw, R.G., Appleyard, J., Hurst, R.M. (1995): Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *International Journal of Food Microbiology* 28, 197-219.
5. Fellows, P. (2000): *Food Processing Technology - Principles and Practice (2nd ed.)*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
6. Herceg Z. (2009): *Procesi konzerviranja hrane - novi postupci*, Golden marketing - Tehnička knjiga, Zagreb, 53-67.
7. Herceg, Z., Lelas, V., Brnčić, M., Tripalo, B., Ježek, D. (2004): Fine Milling and Micronization of Organic and Inorganic Materials Under Dynamic Conditions, *Powder Technology* 139, 111-117.
8. Kuijpers, W.A., van Eck, D., Kemmere, M.F., Keurentjes, J.T.F. (2002): Cavitation-induced reactions in high-pressure carbon dioxide, *Science* 298 (5600), 1969-1971.
9. Lelas, V. (2006): Nove tehnike procesiranja hrane, *Mljekarstvo* 56 (4), 311-330.
10. Mason, T.J. (1998): Power ultrasound in food processing - the way forward. In: Povey, M.J.W. and Mason, T.J. (Eds.), *Ultrasound in Food Processing*. Blackie Academic & Professional, London.
11. Mason, T.J., Luche, J.L. (1996): Ultrasound as a new tool for synthetic chemists. In: *Chemistry under extreme or non-classical conditions* (ed. van Eldik, R. & Hubbard, C.D.), 317-381. New York: Wiley.
12. Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lorimer, J.P. (1996): The uses of ultrasound in food technology, *Ultrasonics Sonochemistry* 3, 253.
13. McClements, D.J. (1995): Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing, *Trends in Food Science & Technology* 6, 293.
14. Oliveira, F.A.R., Oliveirana, J.C. (1999): *Processing Foods*, CRC Press, Boca Raton.
15. Povey, M.J.W., Mason, T.J. (1998): *Ultrasound in Food Processing*, Blackie Academic & Professional, London.
16. Pravilnik o kakvoći mlijeka i mliječnih proizvoda, NN 2001/40., 1221.
17. Sala, F.J., Burgos, J., Condon, S., Lopez, P., Raso, J. (1995): Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes, In: *New methods of Food Preservation*. Gould, F.W., Blackie Academic & Profesional, London.
18. Singh, R.P., Heldman, D.R. (2001): *Introduction of Food Engineering*, 3rd Edition, Academic Press. New York.
19. Suslick, K.S. (1988): *Ultrasounds: its Chemical, Physical and Biological Effects*. VHC Publishers, New York.