



Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane

Applications of Power Ultrasound for Foodstuffs Processing

Mladen Brnčić^{1*}, Branko Tripalo¹, Antonia Penava¹, Damir Karlović¹, Damir Ježek¹, Dražen Vikić Topić², Sven Karlović¹, Tomislav Bosiljkov¹

¹Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

²Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, Zagreb, Hrvatska

Sažetak

U posljednje vrijeme su mnoga istraživanja usmjerena na razvoj novih, blažih tehnika obrade hrane za koje se pretpostavlja da mogu zamijeniti neke tradicionalne toplinski temeljene procese prerade u prehrambenoj industriji, radi dobivanja prehrambenih proizvoda visoke kvalitete. Sačuvani i unaprijeđeni, aroma, okus, miris, vizualni izgled, boja, teksturalna i nutritivna svojstva samo su neke značajke na taj način obrađene hrane. Tako se u prvom redu istražuje primjena visokog hidrostatskog tlaka, ultrazvuka visokog intenziteta, oscilirajućih magnetskih polja, mikrovvalova te pulsirajućih električnih polja. Zajedničko je svim ovim tehnikama da se obrada materijala odvija na sobnoj temperaturi, odnosno da dolazi do neznatnog povišenja temperature kao posljedice obrade te da sam proces traje kratko i to od jedne do deset minuta. Korištenje ultrazvuka u prehrambenoj industriji i prehrambenoj tehnologiji predmet je intenzivnog istraživanja i primjene unazad nekoliko desetaka godina, kako kao metode za nerazorna ispitivanja tj. dijagnostičke metode za određivanje različitih svojstava prehrambenih sirovina i proizvoda (ultrazvuk niskog intenziteta), te kao razorne metode gdje se ultrazvuk koristi kao tehnika kojom se prehrambenoj sirovini ili materijalu mijenjaju fizikalno-kemijska svojstva (ultrazvuk visokog intenziteta). U ovom radu opisana je primjena tehnologije ultrazvuka visokog intenziteta u prehrambenoj industriji i tehnologiji.

Ključne riječi: Ultrazvuk visokog intenziteta, prehrambena tehnologija, hrana

Abstract

Many investigations recently deal with development of new, sophisticated and moderated techniques for food processing for which it can be assumed that might improve or even replace some traditional heat based processes within food technology and food industry to obtain high quality food products. Preserved and improved flavour, taste, odour, visual appearance, colour, textural and nutritive properties as well as some of the qualities for such treated and processed foods. Primarily applications of high hydrostatic pressure, hi-intensity ultrasound, oscillating magnetic fields, microwaves and pulsed electric fields are being investigated. In common for all mentioned technologies is that processing of foods is conducted under conditions of ambient temperature namely slightly increase of temperature occurs as a consequence of alteration of foodstuffs during which process itself last between one and ten minutes.

Potential applications of ultrasound in food technology and food industry has been matter of intensive research in previous two decades and was divided in two different groups. First (low intensity ultrasound) as powerful tool for non-destructive applications i.e. diagnostic methods for various properties determination of food raw materials and final food products, and second (hi intensity ultrasound) where ultrasound is used to change physical-chemical properties of foods. In this work applications of hi intensity ultrasound in food technology and food industry has been described.

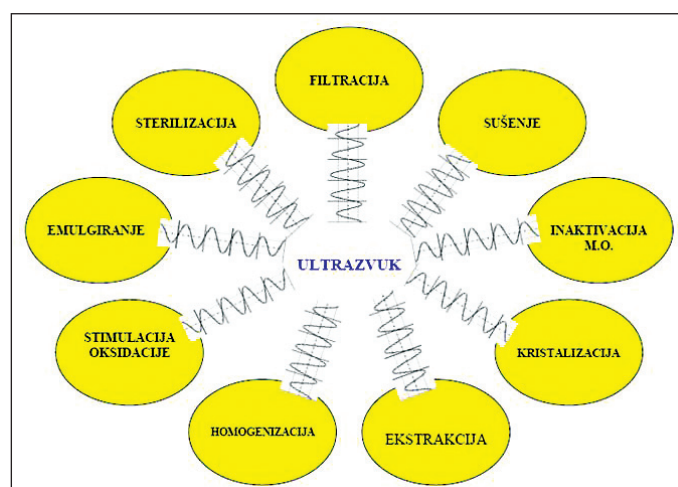
Keywords: Hi intensity ultrasound, food technology, food

Uvod

Paralelno s razvojem ultrazvuka niskog intenziteta koji se koristi kao analitička metoda razvio se i veliki interes za upotrebu ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane pri čemu se najčešće koriste frekvencije ultrazvuka od 16 do 100 kHz. Pri nižim frekvencijama energija ultrazvuka u tekućim sustavima izaziva kavitacije koje mogu dovesti do značajnih fizikalnih i kemijskih promjena u sustavu. Općenito, ultrazvuk ima dvije glavne primjene u prehrambenoj industriji: pri niskim intenzitetima (niže od 1 W/cm²) i visokim frekvencijama se koristi kao analitička metoda (Brnčić, 2006), te pri visokim intenzitetima (više od 1 W/cm²) i niskim frekvencijama može se koristiti pri različitim procesima u obradi hrane (Povey i Mason, 1995).

Na slici 1. prikazana je shematski primjena ultrazvuka visokog intenziteta u prehrambenoj tehnologiji i biotehnologiji.

Ultrazvučni valovi slični su zvučnim valovima u čujnom području, ali imaju frekvencije više od 16 kHz pa ih ljudsko



Slika 1. Primjena ultrazvuka visokog intenziteta u prehrambenoj tehnologiji i biotehnologiji.

Figure 1. Application of hi-intensity ultrasound in food technology and biotechnology

Corresponding author: mbrncic@pbf.hr

uho ne može čuti. Tijekom obrade materijala ultrazvukom visokog intenziteta, kada zvučni val dođe do tekuće sredine, nastaju longitudinalni valovi pri čemu dolazi do naizmjeničnih ciklusa sažimanja i ekspanzije (Herceg i sur., 2009; Bosiljkov i sur., 2009). Ovo naizmjenično izmjenjivanje tlaka izaziva kavitacije pri čemu se formiraju mjehurići plina u materijalu (Patist i Bates, 2008). Ovi mjehurići imaju veću površinu tijekom ekspanzijskog ciklusa što povećava difuziju plina uzrokujući ekspanziju mjehurića. Kada energija ultrazvuka nije dovoljna da bi se zadržala plinska faza, u mjehuriću dolazi do brze kondenzacije. Ove kondenzirane molekule sudaraju se velikom brzinom pri čemu nastaju šok valovi. Ovi šok valovi uzrokuju vrlo visoke temperature (do 5500 K) i tlakove (do 100 MPa). Sposobnost ultrazvuka da izazove kavitacije ovisi o karakteristikama ultrazvuka (frekvenciji, intenzitetu), svojstvima proizvoda (viskoznosti, gustoći i površinskoj napetosti) i okolnim uvjetima (temperaturi, tlaku i vlažnosti) (Dolatowski i sur. 2007; Brnčić i sur., 2009).

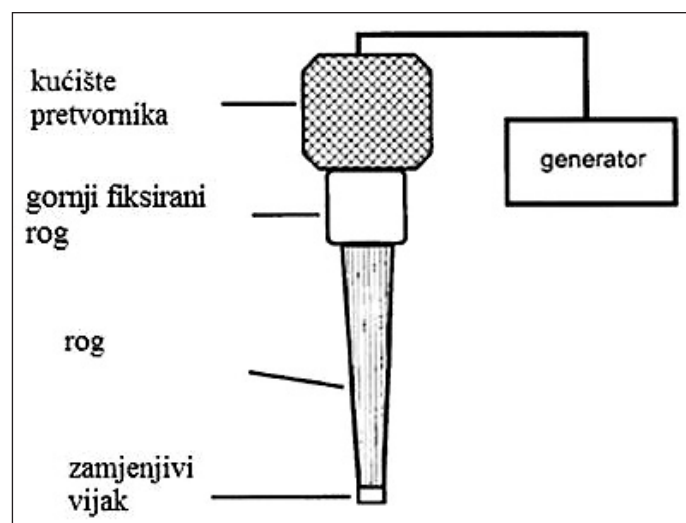
Vrste ultrazvučnih reaktora

Sustav sa direktno uronjenom sondom

Većina uređaja za dobivanje ultrazvuka visokog intenziteta temelje se na elektroakustičnim sustavima, tj. piezoelektričnom ili manje uobičajenom magnetostriktivnom pretvorniku. Koji god se od ova dva pretvornika koristi, najvažnije je da se energija ultrazvuka dostavlja tekućem sustavu koji se tretira (Barbosa Canovas i sur., 2005). Uobičajeni ultrazvučni postav prikazan je na slici 2., i sadrži slijedeće osnovne dijelove:

- Generator koji će pretvoriti električnu energiju u zahtijevanu visoku frekvenciju izmjenične struje
- Pretvornik koji će pretvoriti visoku frekvenciju izmjenične struje u mehaničke vibracije koje stvaraju kavitacije.

U slučaju ultrazvučne kupelji pretvornik je spojen na dno spremnika i dostavlja vibracije direktno tekućini koja je u spremniku.

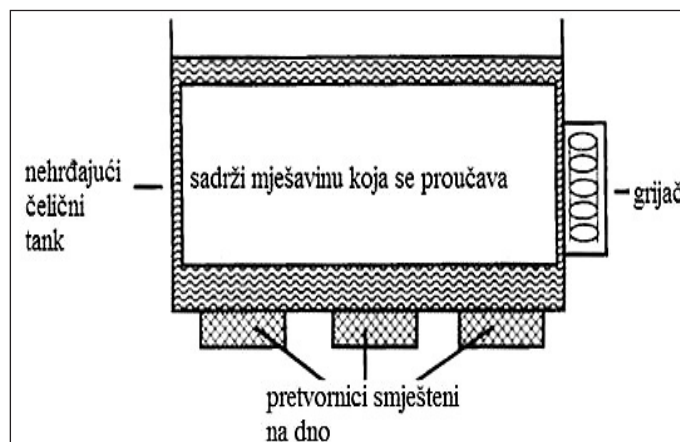


Slika 2. Sustav sa direktno uronjenom sondom (De Castro i Capote, 2007).

Figure 2. System with directly immersed probe (De Castro and Capote, 2007).

Ultrazvučne kupelji

Ultrazvučne kupelji se često koriste u laboratorijima jer su lako dostupne i relativno su jeftine (Fernandes i Rodrigues, 2007; Fernandes i sur., 2008). Obično su elementi pretvornika smješteni na dnu spremnika i glavna ultrazvučnih kupelji radi na frekvenciji od 20-40 kHz, iako postoje izvedbe i u višem frekvencijskom području (Slika 3.).



Slika 3. Ultrazvučna kupelj (Gogate i sur., 2006).

Figure 3. Ultrasonic bath (Gogate et al., 2006).

Različite su mogućnosti izvedbe ultrazvučnih kupelji što omogućava velik broj parametara koji se mogu proučavati, a uključuju:

- Termostatski kontrolirano grijanje i promjenjiva snaga.
- Frekvencijsko prostiranje: dobiva se ujednačenije polje kavitacije pri čemu se izbjegavaju stojni valovi koji bi inače ograničili kavitaciju.
- Pokretna sila koja nastaje uključivanjem ili isključivanjem omogućava kratak signal isprekidane snage ili njezino pulsiranje. Ovo je obično korisno pri otplinjavanju, jer ako se na neko vrijeme zaustavi signal svi otplinjeni mjehurići izbijaju na površinu. U protivnom mjehurići ostaju zarobljeni u stojnim valovima i odgovorni su za absorpciju energije ultrazvuka.
- Električni mjerači vremena koji omogućuju različito trajanje tretmana i perioda kad je isključen.

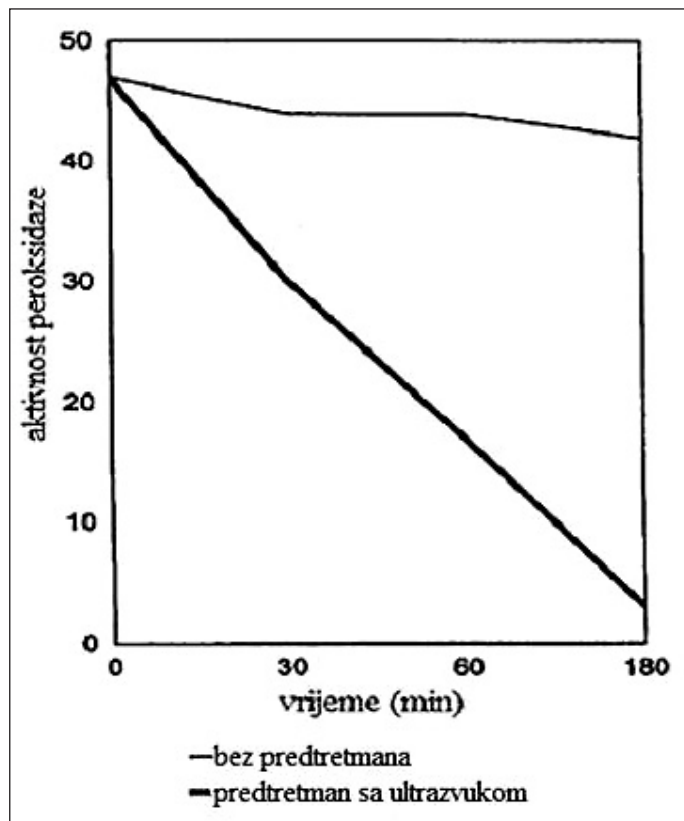
Standardne ultrazvučne kupelji rade pri nižem intenzitetu da bi se izbjeglo oštećenje stijenki spremnika uzrokovano kavitacijom, a i pri manjim akustičkim snagama jer su volumeni tretirane tekućine u spremniku najčešće veliki.

Upotreba ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane

Poznato je da se ultrazvuk može upotrijebiti za inhibiciju enzima. Prije 70 godina Chambers (1937) je objavio da se izolirani pepsin inaktivira primjenom zvuka vjerojatno kao posljedica kavitacije. Peroksidaza, enzim koji se nalazi u većini svježeg i neblanširanog voća i povrća, posebice se povezuje sa pospješivanjem gubitka okusa i posmeđivanja. Utjecaj djelovanja ultrazvuka (20 kHz, 371 W/cm²) na aktivnost peroksidaze: sigma-P8000 otopljen u 0.1 M kalij fosfatu pri 20°C i pH 7 prikazan je na slici 4. Aktivnost peroksidaze se postupno



smanji za 90%, ako se tretira ultrazvukom kroz period od 3 sata (Povey i Mason, 1995). Ipak, ne može se generalizirati utjecaj djelovanja ultrazvuka na enzime. Dok se oksidaze uspješno inaktiviraju djelovanjem ultrazvuka, utjecaj djelovanja ultrazvuka na katalaze ima učinka samo pri malim koncentracijama, dok su reduktaze i amilaze visoko otporne na utjecaj ultrazvuka.



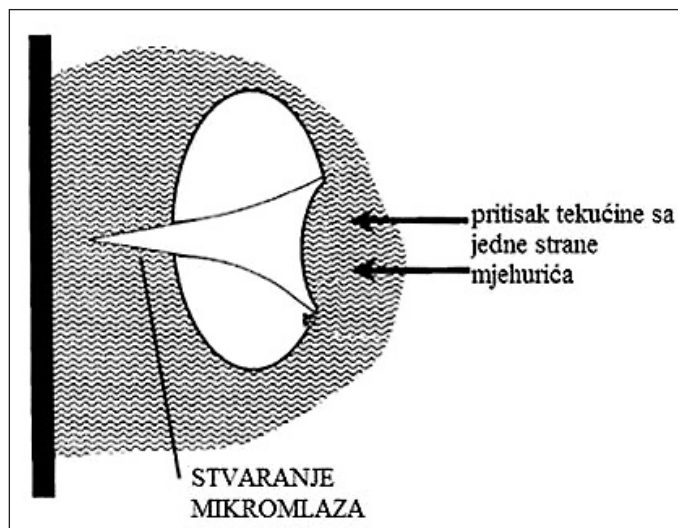
Slika 4. Kontrola aktivnosti peroksidaze uz pomoć ultrazvuka (Povey i Mason, 1995).

Figure 4. Control of peroxidase activity with ultrasound (Povey and Mason, 1995).

Proizvodnja jogurta je važan proces u prehrambenoj industriji. Istraživanja su pokazala da se upotrebom ultrazvuka može skratiti vrijeme proizvodnje jogurta za 40% (Cordemans, 1995). Ultrazvuk se također koristi i pri proizvodnji jogurta sa smanjenim udjelom laktoze. Prozvučivanje pospješuje aktivnost lactobacilla skoro za 50%, a isto tako i slatkoću bez povećanja kalorijske vrijednosti.

Primjer mogućeg korištenja korisnosti ultrazvuka pri pospješivanju oksidacije je pri starenju fermentiranih proizvoda poput vina ili jakih alkoholnih pića gdje ograničena oksidacija doprinosi razvoju okusa i ranom dozrijevanju proizvoda. Prozvučivanjem ultrazvukom frekvencije od 1 MHz pokazalo se da dolazi do promjene odnosa alkohol/ester u takvim proizvodima što daje izgled zrela proizvoda (Povey i Mason, 1995). Ovo je korisno pri proizvodnji žestokih alkoholnih pića, gdje se smanjuje inače dugotrajno sazrijevanje na vrijeme kraće od jedne godine primjenom ultrazvuka na piće u standardnoj bačvi.

Jedna od glavnih primjena ultrazvuka u industriji je ona za čišćenje, a dokazalo se da je to izuzetno učinkovita tehnologija.



Slika 5. Kavitacijski kolaps mjehurića uz čvrstu površinu (Povey i Mason, 1995)

Figure 5. Cavitation collapse of bubble near solid surface (Povey and Mason, 1995)

Ultrazvuk je posebice koristan pri dekontaminaciji površina gdje je pritisak tekućine, koji prati kavitacijski kolaps blizu površine, nesimetričan (Slika 5). Površina onemogućava proboj tekućine sa te strane, pa tako mlaz tekućine nastaje kao rezultat glavnog toka s druge strane mjehurića. Ovaj snažni mlaz uklanja nečistoće i bakterije s površine. Isto tako prednost ultrazvuka je da može doseći pukotine koje se konvencionalnim metodama čišćenja ne mogu doseći. Zapravo se ultrazvuk primjenjuje za pasterizaciju, sterilizaciju i dekontaminaciju instrumenata i površina bilo u medicini, kirurgiji, zubarstvu ili prehrambenoj industriji (Boucher, 1980).

Jedna od prvih primjena ultrazvuka pri preradi hrane bila je za emulgiranje. Ako mjehurić kolapsira na granici dviju tekućina koje se ne miješaju, šok val koji nastaje može pospješiti miješanje tih tekućina. Stabilne emulzije dobivene upotrebom ultrazvuka koriste se u farmaciji, tekstilnoj, kozmetičkoj te prehrambenoj industriji. Tako dobivene emulzije stabilnije su nego one koje se dobiju konvencionalnim metodama i zahtijevaju male količine površinski aktivnih tvari. Singiser i Beal (1960) izveli su niz eksperimenata za usporedbu četiriju metoda koje su se koristile u to vrijeme pri emulgiranju mineralnih ulja, ulja kikirikija i suncokretova ulja. Rezultati su pokazali da je homogenizacija koju su proveli uz pomoć ultrazvuka imala niz prednosti pred ostalim metodama. Danas uz razvoj instrumenata za praćenje procesa emulgiranja, kao što su najmodernije kamere, utvrđeno je da je trenutna kavitacija ta koja osigurava akustično emulgiranje (Cucheval i Chow, 2008).

Mehaničko djelovanje ultrazvuka osigurava više dobiti koje poboljšavaju ekstrakciju klasičnim putem.

- Bolji prolazak otapala u stanicu;
- Pobjoljšani prijenos mase;
- Razbijanje stijenki stanica u biljnom materijalu što omogućuje lakše otpuštanje staničnih sastojaka.

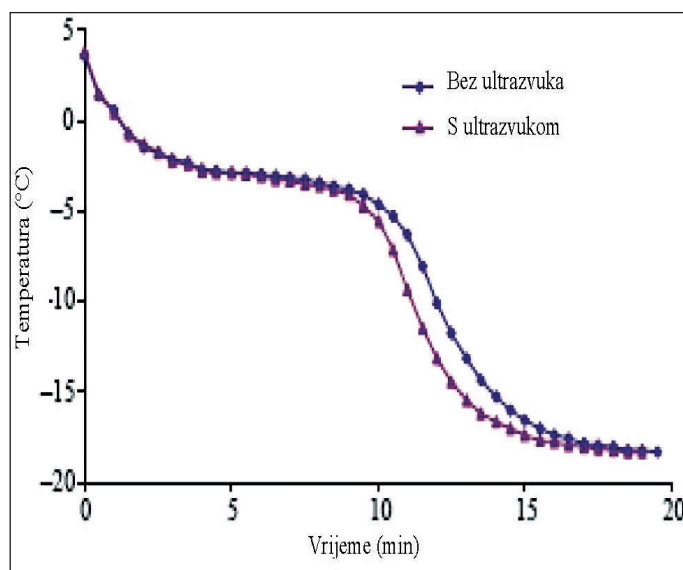
Na osnovu ovih utjecaja, otkriveno je da je značajno bolja ekstrakcija šećera iz šećerne repe ako se upotrebljava ultrazvuk



visokog intenziteta. Ekstrakcija uz pomoć ultrazvuka se može provoditi i pri sintetiziranju tvari u medicinske svrhe (Ruiz i sur., 2003). Wang (1975) je proučavao ekstrakciju proteina iz zrna soje iz kojih je bila uklonjena masnoća. Razvijen je kontinuirani proces pomoću ultrazvuka visokog intenziteta otopine pri 550 W i frekvenciji od 20 kHz što je dalo puno bolje rezultate ekstrakcije nego bilo koja do tada poznata metoda za ekstrakciju. Ovaj proces je uzet kao prototip za ekstrakciju proteina iz soje. Ekstrakcija čvrstih tvari iz čaja je komercijalno važna jer je to prvi korak pri dobivanju instant čaja. Instant čaj je prah dobiven od infuzije čistog čaja kojoj se voda uklanja sušenjem raspršivanjem. Upotrebom ultrazvuka pri ekstrakciji poboljšava se učinak ekstrakcije za 20% pri 60°C. Učinak ekstrahiranja pomoću ultrazvuka je značajno veći i kraće traje nego obična ekstrakcija. Većina se tvari ekstrahira u prvih deset minuta prozvučivanja.

Uočeno je da je ultrazvuk visokog intenziteta koristan pri procesu kristalizacije. Ultrazvuk igra veliku ulogu pri nastajanju i daljnjem stvaranju kristala te rastu kristala. Također ima veliku primjenu pri raznim procesima gdje je posebno koristan i to na način da moć čišćenja uz pomoć kavitacije onemogućuje nakupljanje kristala na rashladnim elementima, pa se time omogućuje kontinuiran prijenos topline. Tretman ultrazvukom visokog intenziteta omogućuje veću brzinu nukleacije kao i veću brzinu rasta kristala u zasićenoj otopini ili predhlađenim medijima tvoreći nove centre kristalizacije. Ta činjenica se može pripisati mjehurićima koji nastaju uslijed kavitacije koji se ponašaju kao centri kristalizacije ili zbog činjenice da uslijed kavitacije dolazi do razbijanja postojećih centara kristalizacije čime se povećava njihov broj u otopini. Jedno od važnijih područja kristalizacije u prehrambenoj industriji je nastajanje kristala leda pri zamrzavanju vode. Namirnice koje se konzerviraju zamrzavanjem nakon odmrzavanja mogu biti dosta promijenjene posebice u smislu teksture. Ovo je posebice problem za „meko“ voće kao što su npr. jagode. Do problema dolazi uslijed rasta malih kristala koji inicijalno nastaju tijekom zamrzavanja. Kako ti kristali rastu dolazi do pucanja staničnih stjenki što dovodi do degradacije strukture materijala. Postoji određeno „vrijeme zadržavanja“ između početka kristalizacije pri otprilike temperaturi od -3°C i potpunog zamrzavanja pri čemu temperatura proizvoda padne (Slika 6). Djelovanjem ultrazvuka znatno brže dolazi do pojave kristalizacije čime se značajno skraćuje vrijeme zadržavanja. Tako dolazi do nastajanja većeg broja centara kristalizacije pri čemu nastaju manji kristali čime se značajno smanjuje oštećenje stanica. Wiltshire (1992) je istraživao utjecaj djelovanja ultrazvuka visokog intenziteta pri proizvodnji sladoleda na štapiću. Prozvučivanjem nastaju manji kristali koji se pravilnije raspoređuju u materijalu. Ovako nastaje proizvod koji je čvršći i prihvatljiviji potrošaču te proizvod puno bolje prijanja uz drveni štapić.

Ultrazvuk visokog intenziteta može se koristiti pri otplinjavanju tekućina uslijed djelovanja kavitacija. Bilo koji otopljeni plin ili mjehurić plina čini jezgru za nastajanje mjehurića kavitacije. Tako nastali mjehurići neće lako kolabirati tijekom komprimiranja vala budući da sadrže plin, nego će i dalje rasti,



Slika 6. Utjecaj ultrazvuka na smrzavanje (Zheng i Sun, 2006.)

Figure 6. Influence of ultrasound on freezing (Zheng and Sun, 2006.)

tijekom ciklusa kojim se smanjuje gustoća medija, puneći se plinom i u konačnici će isplivati na površinu. Budući da se ciklusi razrjeđivanja odvijaju ekstremno brzo (oko 40 000 ciklusa po sekundi koristeći ultrazvučnu ćeliju) mjehurići rastu tako brzo da do otplinjavanja dolazi trenutno. Uklanjanje zraka ili plina je vrlo važan proces u mnogim prehrambenim industrijama, a može biti jako teško posebice kod vrlo viskoznih materijala poput čokolade. Uklanjanje ottopljenih plinova potpomognuto ultrazvukom se posebice brzo provodi kod vodenih sustava i od velike je koristi u slučajevima kada je potrebno brzo i kontrolirano uklanjanje plina ili plinova iz sistema.

Filtracija čestica iz tekućine uz pomoć ultrazvuka je zanimljiva s obzirom da se primjenom ultrazvuka značajno povećava brzina protjecanja kroz filter. Obično se za filtraciju koriste membrane raznih vrsta od onih jednostavnih filter podloga preko polupropusnih osmotskih membrana do onih koji rade na principu isključivanja prema veličini prilikom pročišćavanja polimernih materijala. Međutim, te konvencionalne metode filtracije dovode do začeppljivanja filtera i posljedično se moraju zamjenjivati. Dva su osobita utjecaja djelovanja ultrazvuka koji se mogu iskoristiti za poboljšanje tehnike filtriranja: (a) ultrazvuk će uzrokovati aglomeraciju sitnih čestica (tj. bržu filtraciju) i u isto vrijeme (b) dostaviti dovoljnu količinu energije vibracije sustavu da bi se čestice održale djelomično suspendirane i na taj način ostavile više slobodnih „kanala“ za eluciju otapala. Kombinacija ova dva djelovanja ultrazvuka se može uspješno iskoristiti za poboljšanje vakuum filtracije industrijskih mješavina kao što je ugljeni mulj čija je filtracija dugotrajna i vrlo zahtjevna (Senapati, 1991). Primjenom ultrazvuka pri filtraciji tzv. akustična filtracija može sadržaj vlage mulja sa 50% smanjiti na 25% dok se konvencionalnom filtracijom postiže granica od samo 40%. Zbog činjenice da je ugljeni mulj zapaljiv pri sadržaju vlage od 30% potencijal ovog procesa je zaista velik. Napredak u akustičnoj filtraciji je napravljen primjenom električnog potencijala na mulj dok se akustična filtracija odvija.



Sam filter čini katodu, dok anoda, na površini mulja, djeluje kao izvor privlačenja negativno nabijenih čestica materijala. Dodatna mobilnost postignuta dovođenjem električnog naboja tzv. električno-akustična filtracija povećava učinkovitost uklanjanja vlage za ugljeni mulj sa 50% vlage za još dodatnih 10%. Kada se primjeni za voćne ekstrakte i sokove ova tehnika se koristi za povećanu ekstrakciju soka jabuke iz pulpe. Gdje se konvencionalnim metodama postiže smanjenje vlage sa početnih 85% na 50%, elektro-akustičnom filtracijom se postiže smanjenje vlage na samo 38% (Povey i Mason, 1995).

Sušenje ultrazvukom je od velike komercijalne važnosti. Sušenje potpomognuto ultrazvučnim zračenjem se može izvoditi pri nižim temperaturama nego konvencionalno sušenje, čime se smanjuje oksidacija i propadanje materijala. Za razliku od sušenja vrućim plinom materijal se ne otpužuje niti dolazi do njegova oštećenja. Soloff (1964) je primijenio akustično sušenje na niz materijala koristeći rotacijsku sušnicu sa izvorom ultrazvuka od 169 dB i frekvenciji od 10.9 kHz. Kristali šećera se mogu osušiti upotrebom ultrazvuka na sadržaj vlage koji je za 50-75% manji nego kada se to radi konvencionalnim metodama. Primjenom slične tehnologije je dokazano da se vrijeme sušenja fermentiranog taloga znatno skрати i pri temperaturi nižoj od 40°C. Upotrebom ultrazvuka pri sušenju žitarica u ljusci, cijelog zrna i samljevenog zrna pšenice dokazalo se da se povećala brzina sušenja koja je čak izraženija pri nižim temperaturama. Primjenom ultrazvučnog zračenja se brzina povećala do čak 130% pri temperaturi od 21°C. Pri 63°C se brzina povećala za 66% dok se pri temperaturi od 79.5°C povećala za samo 6%. Ensminger (1988) je istraživao utjecaj ultrazvučnog zračenja tijekom sušenja prehrambenih namirnica koristeći elektro-osmozu. Ovom metodom voda se uklanja potičući molekule vode da prolaze kroz poroznu membranu primjenom električnog potencijala istosmjerne struje. Tijekom ovog procesa može doći do elektrolize vode što uključuje izdvajanje vodika na katodi i kisika na anodi. Prisutnost ovih plinova smanjuje elektrodni potencijal i ograničava pokretanje molekula vode. Primjenom ultrazvuka pospješuje se uklanjanje ovih plinova sa elektroda čime se povećava potencijal i ubrzo sušenje. Mnogi su autori pokazali kako se ultrazvuk visokog intenziteta može koristiti kao pred tretman za sušenje (Cohen, 1995; Zheng i Sun, 2006; Dolatowski i sur., 2007; Fernandes i Rodrigues, 2007; Fernandes i sur., 2008;) Ultrazvuk se može koristiti za povećanje brzine prijenosa topline između površine čvrste tvari koja se grije i tekućine. Može se uvoditi u tekućinu i djelovanjem vibrirajućih valova na površinu čvrste tvari koja se grije. Smatra se da kavitacija potpomaže pri razbijanju graničnog sloja i kako temperatura tekućine raste dolazi do smanjenog efekta kavitacije, a prijenos topline raste otprilike od 30-60%.

Zaključak

Prilagodbe ultrazvuka niskog i visokog intenziteta za prehrambenu industriju su već pokazale značajan potencijal kako u modificiranju tako i u određivanju svojstava prehrambenih sastojaka, sustava i gotovih prehrambenih proizvoda. Korištenje

ultrazvuka u prehrambenoj tehnologiji i industriji nameće se kao nova i unaprijeđena tehnologija koja ima široku primjenu. Kao analitička metoda s parametrima ultrazvuka takvima da je intenzitet manji od 1 W/cm² primjenjuje se u smislu analitike tj. karakterizacije različitih prehrambenih sustava. Otkrivanje stranih tijela, brzina protoka kapljevine u cijevima, određivanje visine nivoa kapljevine i sl. samo su neke od primjena nerazornog ultrazvuka.

Upotreba ultrazvuka visokog intenziteta se sve više razvija, a također i sve više pronalazi upotrebu u prehrambenoj industriji. Korištenje ultrazvuka pri obradi hrane je nova i zanimljiva tehnologija koja se često koristi kao dopuna klasičnim tehnikama. Nasuprot ultrazvuka niskog intenziteta, djelovanje ultrazvučne snage visokog intenziteta je prolaskom ultrazvučne zrake popraćeno stvaranjem visokog tlaka, smicanja i temperaturnog gradijenta unutar prehrambenog sistema. Ovakvi novonastali uvjeti mogu značajno promijeniti strukturu materijala, a kao posljedica prolaska ultrazvučne zrake visokog intenziteta mogu se stvoriti neke kemijske reakcije. Danas se ultrazvuk visokog intenziteta uvelike koristi za prehrambenu industriju i to počevši sa prvim prilagodbama koje su omogućavale razbijanje staničnih stijenki nepoželjnih stanica, otpinjavanje tekućina, čišćenje, homogenizaciju emulzija i raspršivanje agregatnih materijala, pa sve do sasvim novo razvijenih prilagodbi kao što su: stimuliranje reakcija oksidacije, inhibicija enzima, razaranje mikroorganizama, zvučno potpomognuta difuzija te ultrazvučno potpomognuta kristalizacija. Primjenom ultrazvuka visokog intenziteta može se unaprijediti obrada hrane u smislu proizvoda boljih senzorskih svojstava i veće nutritivne vrijednosti, a može se i znatno uštedjeti energija te skratiti trajanje procesa proizvodnje.

Literatura

- Barbosa-Canovas, G.V., Tapia, M.S., Cano, M.P. (2005) *Novel Food Processing Technologies*, CRC Press, Boca Raton.
- Bosiljkov T., Brnčić M., Tripalo B., Karlović S., Ukrainczyk M., Ježek D., Rimac Brnčić S. (2009) Impact of ultrasound-enhanced homogenization on physical properties of soybean milk. *Proceedings of the ninth International Conference on Chemical & Process Engineering ICHEAP 9*, Pg.1029-1034, Rome, May 10-13.
- Brnčić M. (2006) Influence of ultrasound on properties of raw material for extrusion and finished extruded product. *Ph.D. Thesis*, Faculty of Food Technology and Biotechnology, Zagreb.
- Brnčić M., Ljubić Herceg I., Šubarić D., Badanjak M., Rimac Brnčić S., Tripalo B., Ježek D., Cerovec P., Herceg Z. (2009) Influence of power ultrasound on textural properties of corn starch gels. *Proceedings of the fifth International Symposium on Food Rheology and Structure*, Pg.500-501, Zurich, June, 15-18.
- Boucher, R. M. G. (1980) Process for ultrasonic pasteurisation, *U.S. patent* 4, 211,744.
- Chambers, L.A. (1937) The influence of intense mechanical vibration on the proteolytic activity of pepsin. *J. Biol. Chem.* 117 (2), 639.



- Cohen, J.S., Yang T.C.S. (1995) Progress in food dehydration. *Trends in Food Science and Technology*, 6, 20-25.
- Cordemans, E., Mason, T.J. (1995) Synthetic Organic Sonochemistry, *Plenum Press*, New York.
- Cucheval, A., Chow, R.C.Y. (2008) A study on the emulsification of oil by power ultrasound, *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 916-920.
- De Castro L.M.D., Capote P.F. (2007) Analytical applications of ultrasound. Elsevier Science, Langford Lane, Oxford, Great Britain.
- Dolatowski, Z. J., Stadnik J., Stasiak, D. (2007) Applications of ultrasound in food technology, *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 6 (3), 89-99.
- Ensminger, D. (1988) Acoustic and electroacoustic methods of dewatering and drying, *Drying Technology* 6, 473-499.
- Eskin, G.I. (1996) Degassing filtration and grain refinement processes of light alloys in a field of acoustic cavitation, *Advances in Sonochemistry*, 4, 101-60.
- Fernandes Fabiano, A.N.F., Rodrigues, S. (2007) Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82, 261-267.
- Fernandes Fabiano A.N., Linhares Jr. Francisco E., Rodrigues S. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1049-1054.
- Gaffney, B. (1996) Food Engineering, Hool Research Group, *US patent* 4, 225.
- Gogate P.R., Tayal K.R., Pandit A.B. (2006) Cavitation; A technology on the horizon. *Current Science*, 91, 5-16-
- Herceg Z., Brnčić M., Jambrak Režek A., Rimac Brnčić S., Badanjak M., Sokolić I. (2009) Possibility of application high intensity ultrasound in milk industry. *Mljekarstvo*, 59 (1) 65-69.
- Mason, T.J. (1991) Practical Sonochemistry, Ellis Horwood, Chichester.
- Paniwnyk, L. (1993) The effect of ultrasound on organic synthesis and processing from laboratory to large scale, *PhD thesis*, Division of chemistry, Coventry University.
- Patist, A., Bates D. (2008) Ultrasonics innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 147-154.
- Piyasena, P., Mohareb E., McKellar R.C. (2003) Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology* 87(3), 207-216
- Povey, M., Mason, T. J. (1995) Ultrasound in Food Processing, Blackie Academic & Professional, London.
- Ruiz J., Capote, F., Castro, M.D. (2003) Identification and quantification of trans fatty acids in bakery products by gas chromatography-mass spectrometry after dynamic ultrasound-assisted extraction. *Journal of Chromatography*, 1045, 203-210.
- Senapati, N. (1991) Ultrasound in chemical processing, *Advances in Sonochemistry*, 2, 187-210.
- Shoh, A. (1971) Chemical Engineering, Progress Symposium Series, 109, 126-134.
- Singiser, R.E. and Beal, H.M. (1960) *Journal of American Pharmaceutical Association* (Sci. Edn.) 49, 482.
- Soloff, R.S. (1964) Sonic Drying, *Journal of Acoustical Society of America* 36, 961-965
- Wang, L.C. (1984) Ultrasonic Extraction of a Heat-Labile 7S Protein Fraction from Autoclaved, Defatted Soybean Flakes, *Journal of Food Science* 49 (2), 551-554.
- Zheng, L., Sun, D.W. (2006) Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes- a review, *Trends in Food Science and Technology*, 17, 16-23.

Autori / Authors

Doc.dr.sc.Mladen Brnčić

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6

Prof.dr.sc.Branko Tripalo

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6

Antonia Penava

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6

Prof.dr.sc.Damir Karlović

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6

Prof.dr.sc.Damir Ježek

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6

Dr.sc. Dražen Vikić Topić, znanstveni savjetnik

Institut Ruđer Bošković

Bijenička 54

Zagreb

Sven Karlović, dipl.inž.

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6

Tomislav Bosiljkov, dipl.inž.

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6