



# Primjena ultrazvuka niskog intenziteta pri otkrivanju stranih tijela u prehrambenim sustavima

## Use of low-intensity ultrasound for foreign bodies determination in food systems

Mladen Brnčić<sup>1,\*</sup>, Damir Markučić<sup>2</sup>, Miroslav Omelić<sup>2</sup>, Branko Tripalo<sup>1</sup>, Damir Ježek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, I.Lučića 5, Zagreb, Hrvatska

### Sažetak

Ultrazvuk je kao i zvuk mehanička vibracija u krutom ili tekućem mediju, a obuhvaća frekvencije veće od 20 kHz. Djelovanje ultrazvuka koristi se u različitim industrijama, a značajno mjesto zauzima i u prehrambenoj tehnologiji, i to kao analitička metoda, a u zadnje vrijeme sve više i kao nova tehnika obrade koja u velikoj mjeri utječe na fizikalno-kemijska svojstva hrane.

Ultrazvuk se može podijeliti na ultrazvuk niskog intenziteta ( $< 1 \text{ Wcm}^2$ ) i ultrazvuk visokog intenziteta ( $> 1 \text{ Wcm}^2$ ). Ultrazvuk visokog intenziteta se koristi za unaprjeđenje, poboljšanje ili mijenjanje fizikalno-kemijskih svojstava hrane tijekom procesa proizvodnje. Primjena ultrazvuka niskog intenziteta se odnosi na nerazorno ispitivanje određenih svojstava sastojaka hrane, ali i gotovih prehrambenih proizvoda kao što su struktura, protok, debljina, kemijski sastav, veličina čestica ili prisustvo stranih tijela.

Pod pojmom strana tijela podrazumijevaju se svi nepoželjni čvrsti komadići različitih materijala slučajno zaostali u hrani. To mogu biti komadi drveta, stakla, gume, kamena, metala, plastike, različita vlakna ambalažnog materijala, nokti ili vlasi kose.

Određivanje stranih tijela u prehrambenim sustavima pomoću ultrazvuka zasniva se na različitoj zvučnoj impedanciji i brzini zvuka stranih tijela i hrane, odnosno njihovim različitim odzivima pri prolasku ultrazvučnih impulsa.

Unutar ultrazvučnog frekvencijskog raspona strana tijela mogu biti otkrivena u smislu odbijanja, loma, raspršenja ili prigušenja zvučnih signala. U praktičnom određivanju prisutnosti nepoželjnih stranih tijela u hrani ta frekvencija je najčešće iznad 50 kHz. U ovom radu teoretski i praktično su prikazani osnovni principi ove tehnologije.

Ključne riječi: ultrazvuk, strana tijela, hrana

### Summary

Ultrasound waves are mechanical vibrations in a solid or fluid with frequencies above 20 kHz. Ultrasound has been used in a many different technologies for a various industry applications and more and more in food industry, as an analytical tool, or for the raw material modification before, during and after the manufacturing of food products.

The use of ultrasound in food technology can be globally divided as low-intensity ( $< 1 \text{ Wcm}^2$ ), and hi-intensity ( $> 1 \text{ Wcm}^2$ ). Hi-intensity ultrasound is used to enhance, promote or change physical or chemical properties of foods. Low-intensity ultrasound is non-destructive method that enables data about physicochemical properties of food components and products such as structure, flow rate, thickness, composition, particle size and attendance of foreign bodies.

A "foreign body" is any unwanted piece of solid matter present in foodstuffs. It can be piece of wood, glass, rubber, stone, metal, plastic, fibre, dirt, nail or thin hair. Foreign bodies are significantly dissimilar from foodstuffs in terms of acoustic impedance and ultrasonic velocity, consequently a certain ultrasound response is to be registered.

Foreign bodies can be detected by registering the reflected, refracted or scattered acoustic signals. In practical applications for detection of foreign bodies in foodstuffs frequency is usually above 50 kHz. In this work theoretical and practical approach for this technology is presented.

Key words: ultrasound, frequency, foreign bodies

### UVOD

#### Upotreba ultrazvuka niskog intenziteta u otkrivanju stranih tijela u sirovinama i gotovim prehrambenim proizvodima

Zvuk je val koji se širi prostorom ispunjenim medijem pogodnim za širenje zvučnih valova. S obzirom na frekvenciju titranja i prosječne slušne mogućnosti ljudi sve ono što čujemo tj. "poremećaje" u mediju, ali i ono što ne čujemo dijelimo na:

- ❖ Infrazvuk (0 – 16 Hz)
- ❖ Zvuk (16 Hz – 20 kHz)
- ❖ Ultrazvuk (više od 20 kHz)
- ❖ Za titranje frekvencija viših od  $10^{10}$  Hz koristi se naziv hiperzvuk

Mehaničkim valnim gibanjem se naziva prijenos energije pomoću širenja deformacije u nekom elastičnom sredstvu. Kod valnog gibanja se kroz sredstvo prenošenja vala giba samo elastični poremećaj, a ne medij – on ostaje nepomičan. Mehanički valovi se mogu širiti kroz medije u čvrstom, plinovitom i tekućem agregatnom stanju. U vakuumu se mehanički valovi ne mogu širiti jer u vakuumu nema medija kroz koji bi se prostirala energija ultrazvučnih valova. Prema tome, val je gibanje mehaničkog poremećaja kroz sredstvo, a u praktičnoj primjeni ga susrećemo u obliku impulsa ili harmonijskog vala. Dva osnovna moda titranja mehaničkog vala u sredstvima su:

1. Transverzalni ► valni poremećaj je okomit na smjer širenja vala

Corresponding author: [mbrncic@pbf.hr](mailto:mbrncic@pbf.hr)



2. Longitudinalni ► valni poremećaj se događa u smjeru širenja vala

Otkrivanje stranih tijela samo je jedna od brojnih mogućih primjena ultrazvuka u prehrambenoj i srodnim industrijama. Naime, ova nerazorna tehnologija može se koristiti za mjerenje protoka i temperature, određivanje sastava sirovina i smjesa te određivanje veličine čestica, profila pjenjenja i taloženja. Također se može koristiti i u određivanju raspodjele veličine čestica, u kombinaciji s ultrazvukom visokog intenziteta (Mc Clements, 1995).

Proizvođači i trgovci prehrambenih proizvoda najveći broj pritužbi od strane krajnjih potrošača (kupaca) ne primaju, kako bi se moglo očekivati, zbog kemijske i mikrobiološke neispravnosti namirnica, već radi fizikalnih opasnosti tj. prisustva stranih tijela (Mc Clements, 1995). Do kontaminacije ovakvim nepoželjnim stranim tijelima može doći tijekom transporta sirovina ili gotovih proizvoda, prerade, pakiranja i skladištenja odnosno u bilo kojoj fazi proizvodnog procesa. Strana tijela mogu biti prisutna u proizvodima i kao posljedica kvarova na strojevima uslijed istrošenosti pojedinih dijelova opreme, neodržavanja ili zastarjelosti strojeva, uslijed neadekvatnog rukovanja strojevima te nemara. Slučajna prisutnost stranih tijela može se pojaviti čak i u najusavršenijim procesima pripreme i proizvodnje prehrambenih proizvoda. Stoga, proizvođači hrane i trgovci aktivno rade na otkrivanju i uklanjanju stranih tijela iz hrane.

Strana tijela se definiraju kao objekti vidljivi golim okom, a koji ne bi trebali biti prisutni u hrani kao njezin sastavni dio. U

ovu vrlo jasnu definiciju stranih tijela uključeni su materijali za pakiranje kao što je plastika, keramika, papir, staklo; nusproizvodi prehrambenih materijala koji su neadekvatno uklonjeni nakon ili u samom tijeku proizvodnog procesa, kao što su komadi kostiju u mesu; lišće, klasje, korijenje i ostale biljne nečistoće ili strana tijela biljnog podrijetla u voću ili povrću; vanjski dijelovi zrna, listova ili zemlje kod žitarica; te strana tijela u samom proizvodnom lancu bez obzira na vrstu hrane, zaostala ili unešena kao posljedica nepažnje osoblja, nestručnosti osoblja ili zastarjelosti i pohabanosti proizvodne aparature, opreme za pakiranje, loših i neadekvatnih uvjeta i prostora za skladištenje, transport i distribuciju (komadi metala, konopa, papira i živi i mrtvi insekti). Jedna od osnovnih podjela stranih tijela je (Brnčić, 2006):

- Unutarnja strana tijela – one nepoželjne čestice ili zaostaci iz originalne sirovine koji se mogu kao takvi definirati jer se njihovo prisustvo ne želi u proizvodnom procesu ili moguće nečistoće nastale nakon pakiranja hrane npr. nečistoće iz žitarica u brašnu ili pekarskim proizvodima, zaostaci od pulpe u bistrim voćnim sokovima, komadići pluta od čepova u buteljiranim vinima i sl.

- Vanjska strana tijela – ona „prava” strana tijela koja nisu „u srodstvu” tj nisu povezana sa sirovinom ili prehrambenim proizvodom, već se ugrade u proizvod tijekom jednog od dijelova proizvodnog procesa npr. komadić metala u mesu, dijelovi ili čak cijeli kukci u gotovo svim prehrambenim proizvodima, komadi metala u žitaricama i sl.

Tablica 1. Akustička svojstva raznih materijala i hrane na sobnoj temperaturi (Brnčić, 2006)

Table 1. Acoustical properties of various materials and foods at ambient temperature (Brnčić, 2006)

Materijal, Hrana	Brzina (m/s)	Impedancija (kg/m <sup>2</sup> s)x10 <sup>6</sup>	Prigušenje (Np/m)	Napomena
Zrak <sup>1</sup>	343	0,0004	138	1 MHz
Aluminij <sup>1</sup>	6320	17	0,21	1 MHz
Staklo <sup>2</sup>	5660	14,15	2	10 MHz
Voda <sup>1</sup>	1480	1,48	0,025	1 MHz
Avokado <sup>3</sup>	338,1 ± 55,7		258±43	50 kHz pretvarač, svježe ubrano voće
Marmelada od višnje <sup>4</sup> (obrađena)	1420 ± 30	1,63 ± 0,03		5 MHz pretvarač
Marmelada od višnje <sup>4</sup> (neobrađena)	1330 ± 30	1,44 ± 0,03		5 MHz pretvarač
Cheddar* sir <sup>5</sup>	1669 ± 10			1 MHz pretvarač, prosjek 250 dana
Komad sira <sup>4</sup> - Jamtgard	1842 ± 70	1,73 ± 0,06	7,97 ± 0,22	5 MHz pretvarač
Margarin <sup>4</sup> – Jako slan	1118 ± 20	1,21 ± 0,02	8,93 ± 0,46	5 MHz pretvarač
Margarin <sup>4</sup> - Slan	1145 ± 130	1,28 ± 0,03	2,36 ± 0,44	5 MHz pretvarač
Komad sira <sup>6</sup> – Mahon (svježi)	1645 ± 20			1 MHz pretvarač, prosjek 60 dana
Komad sira <sup>6</sup> – Mahon (polu-doazio)	1676 ± 12			1 MHz pretvarač, prosjek 90 dana
Komad sira <sup>6</sup> – Mahon (doazio)	1715 ± 25			1 MHz pretvarač, prosjek 250 dana
Sirup od breskve <sup>7</sup>	1575 ± 5	1,69	3	10 MHz pretvarač
Sobrassada sa Mallorce <sup>8</sup>	1626 ± 6			1 MHz pretvarač, prosjek 80 dana

<sup>1</sup>Shung i sur. (1992), <sup>2</sup>Kaye (1986), <sup>3</sup>Mizrach i Flitsanov (1999), <sup>4</sup>Haeggstrom i Luukkala (2001), <sup>5</sup>Benedito i sur. (2002),

<sup>6</sup>Benedito i sur. (2001), <sup>7</sup>Chivers i sur. (1995), <sup>8</sup>Lulli sur. (2002)

\*Cheddar – Grad u Somersetu (Engleska)

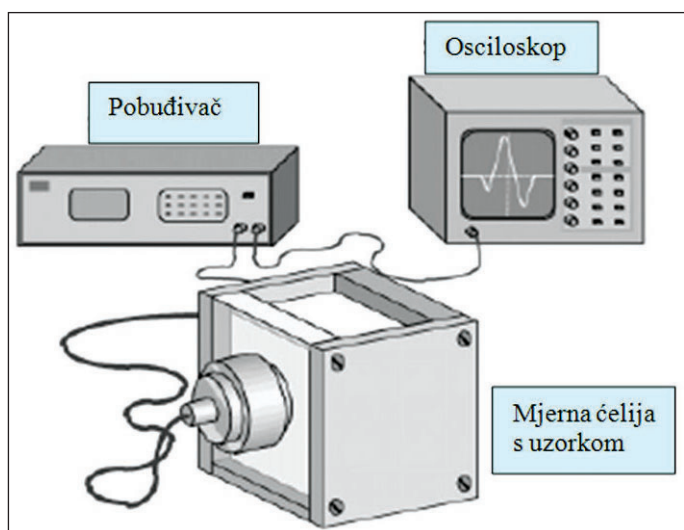


**Postupci kojima se uklanjaju strana tijela u sirovinama za prehrambenu industriju i gotovim prehrambenim proizvodima su:**

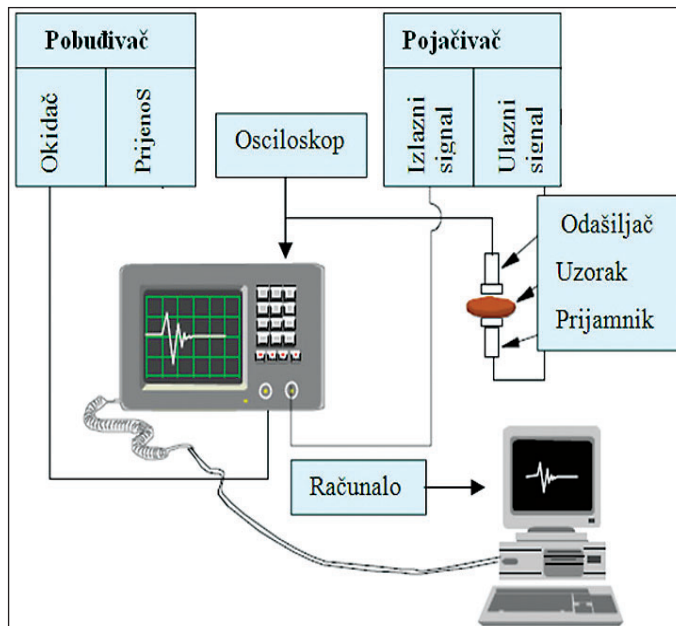
1. Otkrivanje mogućih stranih tijela te njihova identifikacija. Metode otkrivanja stranih tijela zasnivaju se na nekim bitnim razlikama između prehrambenog proizvoda i stranog tijela. To se odnosi na boju, oblik, gustoću, akustička, električna i magnetska svojstva i sl. Veliki broj poznatih metoda za otkrivanje stranih tijela i njihovo uklanjanje koriste svojstva koja su relativno lako uočljiva za operatera, a uključuju upotrebu X-zraka, ultrazvuka, električne impedancije, mikrovalova, magneta, nuklearne magnetske rezonancije i sl.

2. Uklanjanje stranih tijela iz sirovina i gotovih prehrambenih proizvoda. Metodu uklanjanja potrebno je odrediti na osnovu podataka dobivenih na temelju metoda otkrivanja stranih tijela odnosno u ovisnosti o fizičkim svojstvima otkrivenih stranih tijela npr. metal-magnet, kamenčić-sijanje i sl. Dakle, riječ je o klasičnim i već dugo vremena poznatim metodama pomoću kojih se dva ili više sustava razdvajaju (sijanje, flotacija i sl.). U tablici 1. prikazana su akustička svojstva nekih materijala i nekih prehrambenih proizvoda.

Nerazorna primjena ultrazvuka podrazumijeva korištenje raspona frekvencija od 20 kHz do 100 MHz, a najčešće je radni raspon u granicama od 50 kHz do 20 MHz. Koriste se longitudinalni i transversalni valovi. Zvučni se signali najčešće generiraju pomoću piezoelektričnog pretvarača koji je zvučno prilagođen uzorku koji se ispituje. Metode za određivanje stranih tijela u prehrambenim sustavima prikazane su na slici 1 (tehnika odjeka “*puls-echo method*”) gdje se ultrazvučni impuls pobuđuje pomoću pretvarača, zatim prolazi kroz uzorak, nailaskom na granice tijela različitih akustičkih svojstava reflektira se, odnosno dolazi nazad do istog pretvarača, te na slici 2 (metoda “*prozvučivanja*”). Nakon pobuđivanja pomoću pretvarača ultrazvučni impuls prolazi kroz uzorak i prima se na drugom ultrazvučnom pretvaraču. Primljeni signal se na odgovarajući način obrađuje, pojačava i prikazuje u svrhu interpretacije.



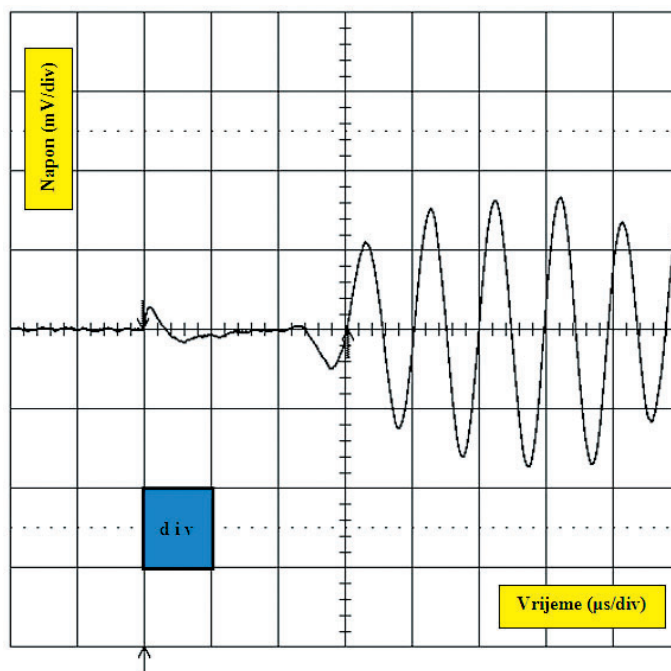
**Slika 1.** Tehnika odjeka (“*Puls-echo method*”) za detekciju stranih tijela ultrazvukom niskog intenziteta (Kulmyrzaev i Mc Clements, 2000)  
**Figure 1.** Pulse-Echoe technique for foreign bodies detection using low-intensity ultrasound (Kulmyrzaev i Mc Clements, 2000)



**Slika 2.** Tehnika prozvučivanja za detekciju stranih tijela ultrazvukom niskog intenziteta snage (Mulet i sur., 2002)  
**Figure 2.** Through-transmission technique for foreign bodies detection using low-intensity ultrasound (Mulet i sur., 2002)

**Primjer mjerenja:**

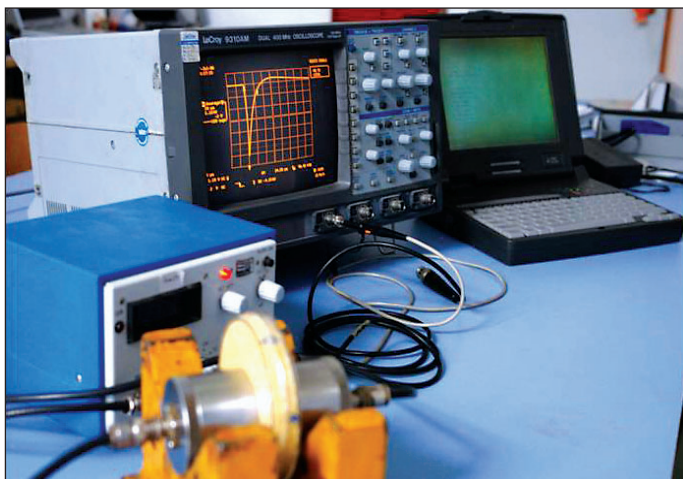
Pri detekciji stranih tijela tehnikom prozvučivanja najprije se mjeri brzina ultrazvuka odnosno vrijeme preleta (“*Time of flight*”), radi određivanja referentnih vrijednosti, u postavci dva pretvarača uparenih u zračnom prostoru i u postavci dva pretvarača između kojih je postavljena prazna plastična Petrijeva zdjelica. Uzorci su pripremljeni tako da se u kukuruznu krupicu namjerno „ugradilo“ različita strana tijela te su s tako pripremljenim uzorcima ispunjene plastične Petrijeve zdjelice. Za svaki uzorak mjereno je sto uzorkovanih prolaza ultrazvučnih



**Slika 3.** Određivanje vremena prolaza ultrazvučne zrake (Brnčić, 2006)  
**Figure 3.** Determination of ultrasonic wave time of flight (Brnčić, 2006)

impulsa kroz uzorak postavljen između dva pretvarača, a kao rezultat izračunata je aritmetička sredina. Mjerenje je provedeno u trenutku postavljanja uzorka te nakon 1 minute, 2 minute, 3 minute i nakon 4 minute. Izlazni signal s drugog pretvarača prima pojačalo, signal se digitalizira i prikazuje na osciloskopu u obliku krivulje ovisnosti napona (mV) o vremenu ( $\mu$ s). Rezultat se pohranjuje u računalo i digitalizira te prikazuje kao dijagram (Slika 3).

Na slici 4 prikazan je potpuni postav za određivanje stranih tijela u uzorcima kukuruznog brašna ultrazvukom niskog intenziteta (manje od  $1 \text{ W/cm}^2$ ) tehnikom prozvučivanja.



Slika 4. Eksperimentalni postav za određivanje stranih tijela ultrazvučnom tehnikom prozvučivanja (Brnčić, 2006)

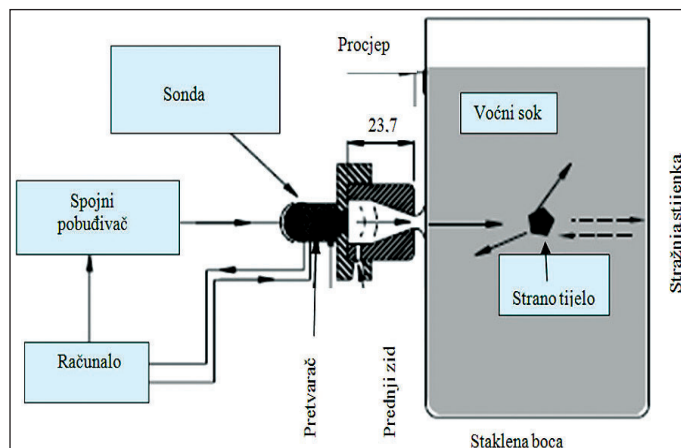
Figure 4. Experimental setup for foreign body determination using ultrasonic through-transmission technique (Brnčić, 2006)

## DOSADAŠNJA ISPITIVANJA – PREGLED LITERATURE

U svojem istraživanju Zhao i sur. (2003a) su ispitivali mogućnosti određivanja stranih tijela u različitim vrstama voćnih sokova (bistrih i gustih) pakiranih u različite tipove staklenih boca (slika 5). Koristili su ultrazvučni pretvarač sa samoprilagođavajućim sistemom upada ultrazvučnog snopa. Zaključili su da postoji odnos između snage ulaznog snopa i kuta upada snopa. Kod nekih boca primijećeni su nepravilni odzivi reflektiranog snopa, koji bi mogli biti tumačeni kao postojanje stranog tijela, a u stvari su bili posljedica nepravilnog oblika boce. Ovakav prototip aparature dao je dobre rezultate i za hranu pakiranu u limenke.

Knorr i sur. (2004), proveli su nerazorno ispitivanje dijagnostičkim ultrazvukom da bi se ustanovilo prisustvo namjerno umetnutih stranih tijela (komadići poklopca) u jogurtu pakiranom u plastične čaše (slika 6).

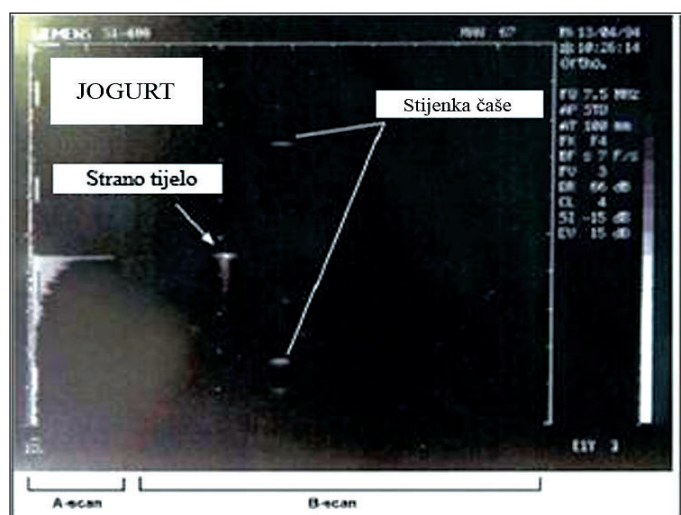
Koristeći se posebno razvijenim algoritmom za analizu ultrazvučnih signala moguće je odrediti strana tijela poput komadića stakla, plastike i sl., što se u najvećoj mjeri odnosi na razne dijelove od ambalaže (komadići ili orezotine limenki, dijelovi plastične ambalaže od jogurta) (Knorr i sur. 2004). Mlijeko pakirano u plastične boce je isto prehrambeni proizvod u kojem se mogu pojaviti strana tijela različitog oblika i porijekla, bilo da su unesena slučajno kao prava strana tijela ili ako se po-



Slika 5. Određivanje stranih tijela ultrazvukom niskog intenziteta u voćnom soku pakiranim u staklenu bocu (Zhao i sur., 2003b)

Figure 5. Foreign bodies determination using low intensity ultrasound in fruit juice packaged in glass bottle (Zhao i sur., 2003b)

jave kao posljedica otpadanja komadića ambalaže. Pokazano je da se takva strana tijela mogu uspješno otkriti i primjenom nerazornog ispitivanja ultrazvukom gdje pretvarači nisu bili u dodiru s plastičnom bocom. Ova su opažanja primijećena pri korištenju pretvarača nazivne frekvencije 250 kHz (Bhardwaj, 1997).



Slika 6. Određivanje stranog tijela u jogurtu pakiranom u plastičnu čašu (Knorr i sur., 2004)

Figure 6. Foreign bodies determination using low intensity ultrasound in yoghurt packaged in plastic glass (Knorr i sur., 2004)

Posebno istraživanje su izveli Haegstroom i Luukakala, 2001. koji su razradili sustav namjerno unesenih stranih tijela u razne prehrambene proizvode koje su uzeli s polica trgovina. Proizvodi su bili različite vrste pakiranih sireva i marmelada, a "inficirali" su ih stranim tijelima od različitih materijala (drvo, metal, kamen, plastiku, staklo i životinjske kosti) i u različitim oblicima. Razumljivo je kako u proizvodu mogu zaostati svi ovi strani materijali, a prisustvo kostiju se može dogoditi u mesnim proizvodima tipa: pileća i pureća prsa, mljeveno meso i sl. i to prilikom odvajanja kostiju, kada se uvijek neki mali komadić može odvojiti i slučajno zaostati u fileu. Oblike su formirali u kuglice i valjke, a prirodne oblike nisu modificirali (drvo, ka-



men). Istraživanje su bazirali na usporedbi dva ultrazvučna signala i to: generiranom ultrazvučnom signalu u uzorku koji je imao strano tijelo i generiranom ultrazvučnom signalu u čistom uzorku. Zatim su filtrirali i analizirali razlike između ta dva signala. Zaključili su da su rezultati dobri u homogenim prehrambenim sustavima.

Strana tijela u siru bila su predmet istraživanja koje su proveli neovisno jedni o drugima Coupland (2004) i Cho i Irudayaraj (2003). Zaključili su da su mekani sirevi pogodniji za određivanje stranih tijela. Materijali koje su koristili kao strana tijela bili su drvo, metal i plastika.

Nerazorni klinički ultrazvuk se može iskoristiti za određivanje stranih tijela u voću i povrću (Chivers i sur., 1995). Autori su koristili tehniku odjeka da bi otkrili sitne kamenčiće u breskvama. S obzirom na veliku razliku u koeficijentu prigušenja ultrazvuka u breskvi i u stranom tijelu metoda se pokazala uspješnom.

## Zaključak

Prilagodbe ultrazvuka niskog intenziteta za primjenu u prehrambenoj industriji već su pokazale značajan potencijal u određivanju svojstava prehrambenih sastojaka, sustava i gotovih prehrambenih proizvoda. U mnogim slučajevima tehnike bazirane na ultrazvuku pokazale su značajne prednosti pred drugim postojećim tehnologijama. Ultrazvučni postavi niskog intenziteta pogodni su za brza i točna mjerenja, mogu se koristiti on-line ili klasično za laboratorijske analize, u pravilu su manjih dimenzija pa su stoga i prilagodljivi svakom laboratoriju, nerazorni su i mogu se prilagoditi optički tamnim sistemima. Određivanjem standardnih vrijednosti akustičkih veličina za ispitivani prehrambeni proizvod te odgovarajućim mjerenjima mogu se uspostaviti metode za određivanje stranih tijela u prehrambenim sustavima.

## Literatura

- Benedito, J., Carcel, J. A., Gonzalez, R., Mulet, A. (2001) Application of low intensity ultrasonics to cheese manufacturing processes. *Ultrasonics*, **40**, 19-23.
- Benedito, J., Carcel, J. A., Gisbert, M., Mulet, A. (2002) Quality control of cheese maturation and defects using ultrasonics. *Journal of Food Science*, **66**, 100-104.
- Bhardwaj, M.C. (1997) Innovation in non-contact ultrasonic analysis: applications for hidden objects detection. *Materials Research Innovations*, **1**, 188-196.
- Brnčić, M. (2006) Utjecaj ultrazvuka na svojstva sirovine za ekstruziju i gotovog ekstrudiranog proizvoda. Disertacija, Prehrambeno-biotehnološki fakultet.
- Chivers, R.C., Russel, H., Anson, L.W. (1995) Ultrasonic studies in preserved peaches. *Ultrasonics*, **33**, 75-79.
- Cho, B., Irudayaraj, J.M.K. (2003) Foreign object and internal disorder detection in food materials using non contact ultrasound imaging. *Journal of Food Science*, **68**, 967-974.
- Coupland, J.N. (2004) Low intensity ultrasound. *Food Research International*, **37**, 537-543.
- Haegstrom, E., Luukkala, M. (2001) Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products. *Food Control*, **12**, 37-45.

Kaye, G. W. C. (1986) *Tables of Physical and Chemical Constants and Some Mathematical Functions*, New York, Longman, 76.

Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D.U. (2004) Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Food Science and Technology*, **15**, 261-266.

Kulmyrzaev, A, Mc Clements, D. J. (2000) High frequency dynamic shear rheology of honey. *Journal of Food Engineering*, **45**, 219-224.

Llull, P., Simal, S., Femenia, A., Benedito, J., Rossello, C. (2002) The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from mallorca. *Journal of Food Engineering*, **52**, 323-330.

Mc Clements, D.J. (1995) Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science & Technology*, **6**, 293-299.

Mizrach, A., Flitsanov, U. (1999) Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process. *Journal of Food Engineering*, **40**, 139-144.

Mulet, A., Benedito, J., Golas, Y., Carcel, J.A. (2002) Noninvasive measurements in the food industry. *Food Reviews International*, **18**, 123-133.

Shung, K.K., Smith, M.B., Tsui, B.M.W. (1992) *Principles of Medical Imaging*, San Diego, Academic Press, 85-91.

Zhao, B., Basir, O.A., Mittal, G.S. (2003a) A self-aligning ultrasound sensor for detecting foreign bodies in glass containers. *Ultrasonics*, **41**, 217-222.

Zhao, B., Basir, O.A., Mittal, G.S. (2003b) Detection of metal, glass and plastic pieces in bottled beverages using ultrasound. *Food Research International*, **36**, 513-521

## Autori / Authors

*Doc.dr.sc.Mladen Brnčić*  
Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Pierottijeva 6

*Prof.dr.sc.Damir Markučić*  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5

*Miroslav Omelić, inž.*  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5

*Prof.dr.sc.Branko Tripalo*  
Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Pierottijeva 6

*Prof.dr.sc.Damir Ježek*  
Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Pierottijeva 6