

STRUČNI RAD / PROFESSIONAL PAPER

# Primjena ultrazvuka niskog intenziteta („puls - jeka“) u otkrivanju oštećenja ambalažnog materijala i stranih tijela unutar pakovanja

## Application of Low - intensity Ultrasound („pulse – echo“) for Damage Detection of Packaging Materials and Foreign Bodies in Packaged Products

Tomislav Bosiljkov\*, Sven Karlović, Branko Tripalo, Mladen Brnčić, Damir Ježek, Suzana Rimac Brnčić, Antonija Penava, Damir Karlović

Prehrambeno – biotehnoški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

### Sažetak

Sa ciljem što preciznijeg i jasnijeg definiranja eventualnih nedostataka ambalažnog materijala u smislu detekcije oštećenja kao i otkrivanje stranih tijela unutar upakiranog gotovog prehrambenog proizvoda danas se primjenjuju razne tehnike čija je temeljna osnova utjecaj ultrazvuk niskog intenziteta. Ultrazvuk kao mehanička vibracija sličan je čujnome zvuku. Nerazorna (dijagnostička) ispitivanja najčešće se provode u frekvencijskom području između 1 MHz – 30 MHz i karakteriziraju ga niski intenziteti ( $<1 \text{ W/cm}^2$ ). U ovom radu prikazani su utjecaji različitih tehnika primjene ultrazvuka niskog intenziteta kao što su „puls – jeka“ metoda kao najučinkovitija metoda pri detekciji stranih tijela zaostalih unutar ambalažnog materijala tijekom proizvodnog procesa, kao i mjerenje utjecaja akustičke impedancije sa ciljem dobivanja što jasnije slike analiziranih spojnih mjesta ambalažnog materijala. Prikazane su i osnovne značajke BAI (eng. Backscattering Amplitude Integral) tehnike slikanja kako bi se analizom dobivene slike identificirale pukotine i oštećenja spojnih mjesta ambalažnog materijala.

Ključne riječi: ambalažni materijal, „puls – jeka“ metoda, ultrazvuk niskog intenziteta

### Summary

In order to achieve precise and clear definitions of possible flaws, imperfections in packaging materials, low intensity ultrasound is the basic applied technique. The most useful applications of low intensity ultrasound are for detection of foreign bodies, damages and holes inside of the packaging materials. Ultrasound is mechanical vibration similar to audible sound. Diagnostic investigations were performed in frequency range between 1 MHz – 30 MHz with low intensity ( $<1 \text{ W/cm}^2$ ). This article indicate different techniques of using low intensity ultrasound such as „pulse – echo“ method like a more effective method for detection of foreign bodies inside of packaging materials during production. The main goal of measuring of acoustic impedance is acquiring distinct images of analysed contact places of packaging materials. There are also shown the basic characteristics of BAI (Backscattering Amplitude Integral) technique of getting images and their analysis for identification of damages of connecting places of packaging materials.

Key words: packaging material, „pulse – echo“ method, low intensity ultrasound

### Uvod

Nove tehnike pakiranja namirnica trebale bi potrošaču osigurati i garantirati visoku kvalitetu i održivost tijekom dužeg vremena skladištenja. S potrošačke točke gledišta nužno je da namirnica zadrži svoju svježinu. Glavna funkcija ambalažnog materijala jest da očuva potrebnu razinu kvalitete, pruži potrošaču potrebne informacije o odabranom proizvodu i uspješno privuče potencijalnog kupca sa ciljem što uspješnije prodaje proizvoda. Kako bi potrošači razumjeli prednosti i pogodnosti novih tehnika i metoda pakiranja namirnica potrebno je svakome pružiti minimum potrebnih informacija da bi nova tehnika bila opće prihvaćena. Primjenom novih tehnika svaka vrsta proizvoda je izložena mogućem riziku od kontaminacije, bilo da se radi o mikrobiološkoj kontaminaciji ili kontaminaciji nekim stranim tijelom koje u pojedinim fazama proizvodnje može narušiti kvalitetu gotovog

proizvoda. Ambalažni materijal najviše je ugrožen mogućim mikrobiološkim onečišćenjem tijekom punjenja proizvoda kao i moguća kontaminacija procesnih uređaja tijekom proizvodnje. Jedan od najvažnijih koraka je uvođenje HACCP sustava i definiranje kritičnih kontrolnih točaka kako bi se događaji ovakvog tipa svele na najmanju moguću mjeru. (Ahvenainen, 2003; Mittendorfer i sur., 2002).

### Fizikalna svojstva ultrazvuka

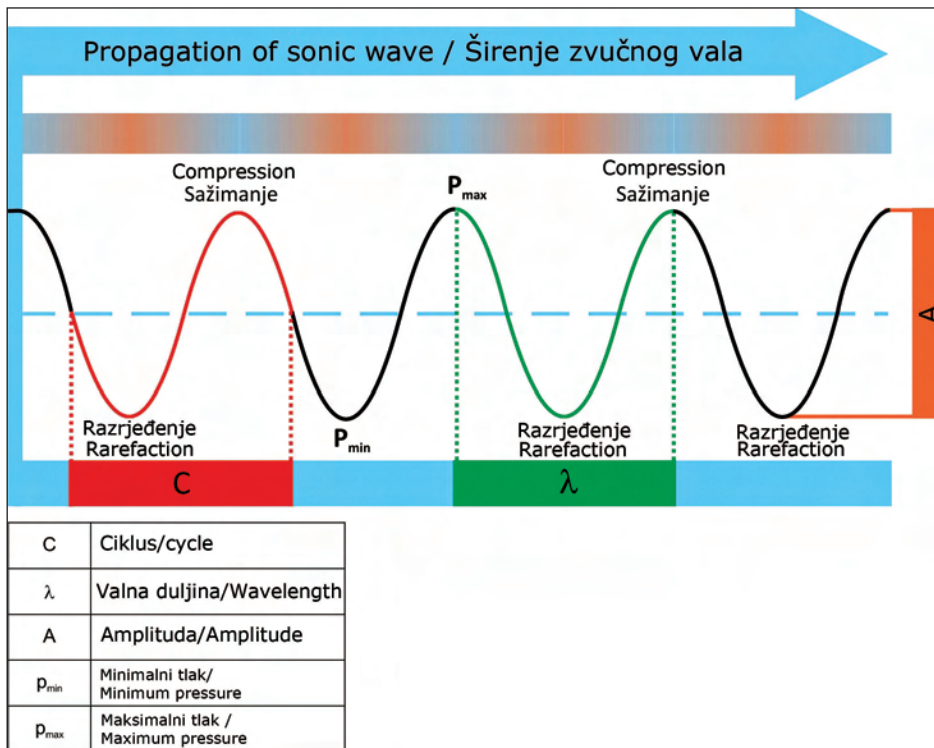
Primjenom „puls – jeka“ metode ispitivanja, odaslani ultrazvučni val mora se prostirati kroz kruti ili tekući medij koji se mora nalaziti između pretvornika i uzorka koji se ispituje. Ultrazvuk kao mehanička vibracija ili tlačni val sličan je čujnom zvuku. Nerazorni tj. dijagnostički ultrazvuk prostire se u frekvencijskom rasponu višim od 2 MHz sa značajkama visokih frekvencija i niskih intenziteta ( $<1 \text{ W/cm}^2$ ), koje ne

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



uzrokuju fizičke niti kemijske promjene u svojstvima materijala kroz koji prolazi. Koristi se kao analitička tehnika za kontrolu obrade hrane, mjerenja teksture, sastava, viskoznosti, brzinu protjecanja, kontrolu pakiranja, određivanja razine kapljevine u bačvama ili tankovima, koncentracije tvari u hrani (McClements, 1997.; Mason, 1998).

Razlika u frekvencijskom intervalu definira razorni (ultrazvuk visokog intenziteta  $>1\text{W}/\text{cm}^2$ , niske frekvencije 20 kHz – 100 kHz) i nerazorni (ultrazvuk niskog intenziteta  $<1\text{W}/\text{cm}^2$ , visoke frekvencije 50 kHz – 30 MHz). Za nerazorna ispitivanja najčešće je ultrazvučno područje između 1MHz – 30 MHz). Ovakvu vrstu ultrazvučnih valova moguće je vrlo precizno usmjeriti i fokusirati na odabrano mjesto ili predmet istraživanja. Moguće je postaviti i vrlo kratke vremenske intervale odašiljanja što je vrlo bitno radi većeg stupnja preciznosti odaslanih longitudinalnih valova prema ispitivanom mjestu ili uzorku. Osim longitudinalnih valova detekcija je moguća i primjenom transverzalnih valova (Mason, 1998; Mason i sur., 1996).



**Slika 1.** Širenje ultrazvučnog vala  
**Figure 1.** Propagation of ultrasonic wave

Dimenzije i širenje ultrazvučnih valova ovise o vrsti sredstva kroz koje se prenosi energija, vrsti materijala, obliku, dimenzijama i njegovoj elastičnosti. Dvije osnovne vrste valova su longitudinalni i transverzalni (Krstelj, 2003).

- Longitudinalni val (uzdužni val) je val kod kojeg čestice titraju u smjeru širenja vala, tzv. L-val koji uzrokuju kompresiju i razrjeđenje u mediju kroz koji se šire.
- Transverzalni val (poprečni val) je onaj kod kojeg čestice titraju okomito na smjer širenja vala, tzv. T-val, koji zbog navedenog smjera širenja ne uzrokuje kompresiju i razrjeđenje u mediju.

Tijekom prolaska kroz medij zvučni val se raspršuje i apsorpira (P) što se izražava koeficijentom atenuacije ( $\alpha$ ) prikazanim jednadžbom (1):

$$P = P_0 e^{-2\alpha x} \quad (1)$$

gdje je:  $P_0$  – početna snaga izvora ultrazvučnog vala (početna amplituda zvučnog vala);  $x$  – duljina širenja vala koja je dva puta duža od dubine urona sonde;  $\alpha$  – koeficijent atenuacije (Hægström and Luukkala, 2001).

Koeficijent atenuacije može se predočiti i sljedećim izrazom (2):

$$\alpha = \frac{\mu \times \omega^2}{2 \times c^3 \times \rho} \quad (2)$$

gdje je:  $\mu$  – dinamička viskoznost;  $\omega$  – nazivna frekvencija odabrane sonde,  $c$  – brzina širenja ultrazvučnog vala kroz promatrani medij;  $\rho$  – gustoća promatranog medija.

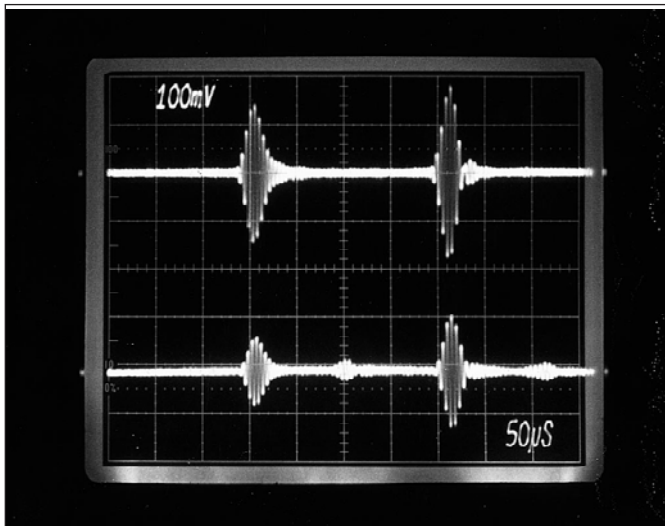
Amplituda je najveći otklon (elongacija) od srednje vrijednosti veličine kojom se opisuje val ili titranje. Amplituda valova je snaga ili intenzitet vibracije izražene u metrima čijim se prolaskom kroz medij amplituda smanjuje s povećanjem udaljenosti od izvora ultrazvuka. Razmak između dvije susjedne točke najvećeg zgušnjavanja ili razrjeđenja čestica zraka (tj. između minimuma ili maksimuma sinusoide koja predstavlja promjenu zvučnog tlaka) naziva se valna duljina. To je udaljenost nakon koje se oblik vala ponavlja. Mjerna jedinica valne duljine je [m]. Valna duljina je obrnuto proporcionalna frekvenciji.

Frekvencija je fizikalna veličina kojom se izražava broj titraja koje pojedina čestica ostvari u određenom vremenskom intervalu. Frekvencija zvučnog vala je odnos brzine širenja zvučnog vala u zraku i valne duljine.

Što je veća frekvencija zvučnog vala, to je valna duljina manja (Benenson i sur., 2002).

### Detekcija stranih tijela u prehrambenoj industriji primjenom „puls – jeka“ metode

Ultrazvuk niskog intenziteta moguće je primijeniti pri detekciji stranih tijela unutar pakovanja. Razvoj ove vrste tehnike prethodio je sve manjoj učinkovitosti dotadašnjih primjenjivanih tehnika čija se učinkovitost temeljila na djelotvornosti X – zraka i primjenom metalnih detektora koji nisu bili dovoljno učinkoviti pri nalaženju organskih ostataka u polaznoj sirovini ili gotovom proizvodu koji su u promjeru manji od



**Slika 2.** Detekcija stranih tijela u tekućini (mlijeku) primjenom ultrazvuka niskog intenziteta (Bhardway 1997).

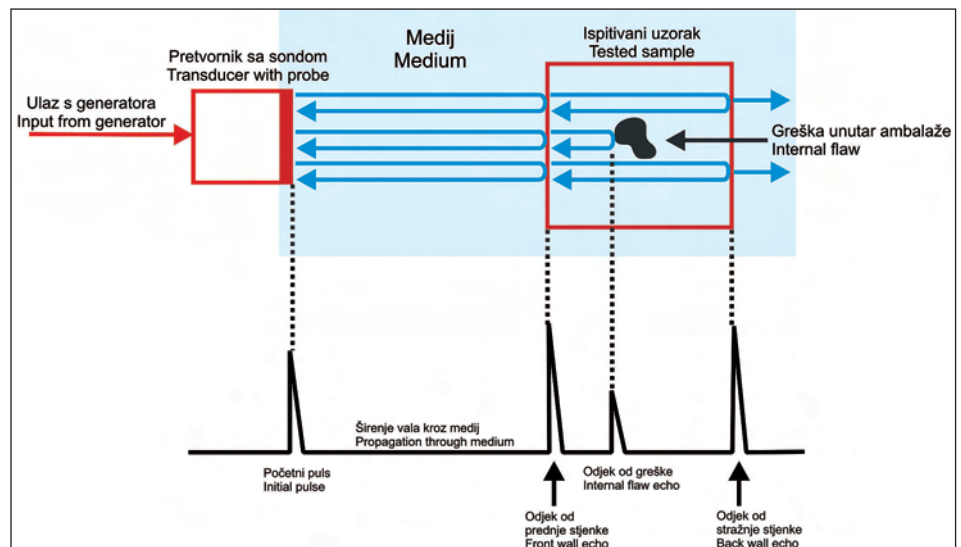
**Figure 2.** Detection of foreign bodies in liquid samples (milk) using a low intensity ultrasound (Bhardway 1997).

50  $\mu\text{m}$ . Da bi se dobila zadovoljavajuća slika primjenom X – zraka potrebno je postići odgovarajući kontrast koji ovisi o veličini mikro pukotine koja je prihvatljiva samo kod materijala sa zadovoljavajućom razinom elektronske gustoće koju teško postižu organski spojevi (ugljikovodici) u namirnicama i ambalažnom materijalu (Raum i sur. 1998). Mjerenja nerazornim ultrazvukom moguće je primijeniti zbog širokog spektra materijala koje je moguće detektirati kao i široki spektar lokacija na kojima je moguće potražiti neželjenu zaostalu nečistoću. Prikladna oprema za ovakvu vrstu mjerenja je relativno jeftina s visokim stupnjem iskorištenja i velikom razinom točnosti. Najčešći problemi se javljaju tijekom različitih faza proizvodnje kada su moguća „onečišćenja“ različitim staklenim, metalnim ili drvenim krhotinama koje zaostanu u gotovim proizvodima kao što su mlijeko i voćni sokovi (Zhao i sur. 2003). Detekcija i razlikovanje stranih tijela puno je složenija i teža u nehomogeniziranim uzorcima nego u uzorcima u kojima je homogenizacija sastavni dio tehnološkog procesa (Hægström and Luukkala, 2001). Gornja dva pika na promatranoj krivulji (slika 2) pokazuju emitirani i reflektirani signal između prednjeg i stražnjeg zida plastičnog ambalažnog materijala. Promatrana udaljenost između dva šiljasta odskočna signala iznosi 150 mm. Promatrajući donju krivulju primjećuje se poremećaj signala između dva promatrana pika koji su na istoj udaljenosti kao i na gornjoj krivulji. Poremećaj predstavlja detektirani metalni predmet promjera 20 mm (Slika 2) (Bhardway 1997).

Jedan od najvažnijih koraka tijekom pakiranja namirnica je primjena odgovarajuće tehnike pravovremenog otkrivanja mana i pukotina upotrijebljenog ambalažnog materijala. Kontrola kvalitete temelji se na kontroli gotovog proizvoda zapakiranog u odgovarajući ambalažni materijal. Kontrola podrazumijeva i detekciju neželjenih stranih tijela zaostalih tijekom tehnološkog procesa. U dosadašnjim istraživanjima detekcija nastalih procjepa u ambalažnom materijalu temeljila se na ultrazvučnoj tehnici upotrebom ultrazvuka niskog intenziteta tzv. „puls – jeka“ metode (Yin i sur. 2004).

Pretvarač stvara ultrazvučne valove u skladu s vrijednosti primljenog električnog impulsa ultrazvučnog generatora snage. Prolaskom ultrazvučnog vala kroz odabrani medij koji je najčešće voda susreće se s ciljanim uzorkom gdje se dio vala reflektira nazad do pretvarača (slika 3). Nakon refleksije ultrazvučnog vala primljeni električni signal je uvijek u funkciji vremena što ovisi o poziciji pretvarača u odnosu na ispitivani uzorak. Vremenski intervali primljenog električnog signala (impulsa) su jednaki za istu vrstu materijala jer brzina širenja zvuka je konstantna za svaki materijal ili sredstvo kroz koje se rasprostire. Kalibracijom uređaja s poznatom brzinom širenja zvuka kroz odabrani materijal, proteklo vrijeme refleksije između prednje i stražnje površine može se uzeti kao mjera gustoće.

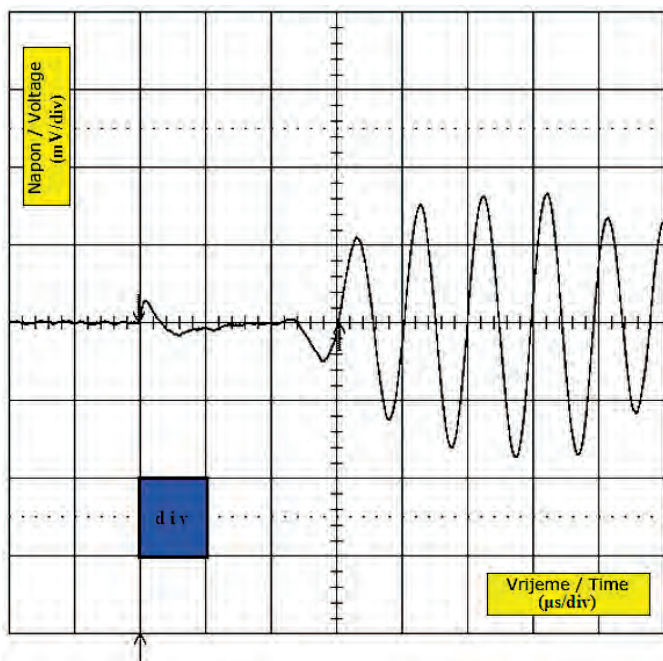
Tijekom kalibracije za automatsko određivanje pukotina materijala pukotina je postavljena u području između prednje i stražnje površine ambalažnog materijala. Ako je povratni signal



**Slika 3.** Detekcija stranog tijela primjenom „puls – jeka“ metode mjerenja

**Figure 3.** Detection of foreign bodies using a „pulse – echo“ method

detektiran u području postavljene pukotine onda sa sigurnošću možemo ustanoviti da se radi o prisutnosti neželjenog oštećenja. U ovom slučaju se radi o kalibraciji vremenskog odziva za promatrano područje mjerenja. Signal vremenskog odziva detektiranog oštećenja stvara se kao analogni izlazni signal u obliku šiljastog odskočnog signala na promatranoj krivulji. Analogni signal se digitalizira pomoću osciloskopa i krivulja se obično prikazuje kao ovisnost napona [mV] o vremenu [ $\mu\text{s}$ ] (slika 4) (Yin i sur., 2004; Brnčić i sur., 2009).



**Slika 4.** Digitalni signal na osciloskopu uređaja, ovisnost napona [mV] o vremenu [µs] (Brnčić i sur., 2009).

**Figure 4.** Oscilloscope digital signal, dependency of voltage [mV] and time [µs] (Brnčić et al., 2009).

### Utjecaj akustičnog otpora (koeficijenta atenuacije)

Sa ciljem dobivanja što bolje i jasnije slike analiziranih spojnih mjesta „puls – jeka“ metodom mjerenja potrebno je što preciznije izmjeriti vrijednost akustičnog otpora. Mjeri se RF (promjena u radio frekvenciji) povratnog valnog oblika s površine referentnog ambalažnog materijala čija je vrijednost otpora poznata i nakon toga povratni valni oblik ispitivanog materijala čiju vrijednost otpora treba izmjeriti. Naravno, obje vrste mjerenja se provode pri jednakim eksperimentalnim postavkama mjernog uređaja. Nakon mjerenja dva povratna valna oblika uspoređuju se dobivene vrijednosti i računa otpor. Vrijednost akustičnog otpora (koeficijent atenuacije) nepoznatog materijala moguće je izračunati primjenom odgovarajućeg matematičkog modela koja uzima u obzir omjer amplituda između dva navedena mjerenja. Za konačnu sliku profila ukupnog otpora potrebno je uzeti u obzir vrijednosti otpora koja pružaju spojna mjesta ambalažnog materijala i napraviti potrebne korekcije vrijednosti. Slike dobivene optičkim mikroskopom napravljene su kako bi se utvrdila mikrostrukturna obilježja spojnih mjesta (jesu li spojna mjesta zadovoljavajuće kvalitete i postoje li kakve nepravilnosti na spojnim mjestima ambalažnog materijala. Osim optičkih slika za potpuni opis i karakterizaciju spojnih mjesta snima se i 2D akustična slika (Yin i sur., 2004; Raum i sur., 1998)

### BAI metoda analiziranja oštećenja i spojnih mjesta

Najpoznatija je BAI (eng. Backscattering Amplitude Integral) tehnika slikanja. Mogućnost identifikacije pukotina kao i odabir metode zasniva se na detekciji promjera nastale pukotine. Detekcija pukotina većih od 15 µm moguća je primjenom

središnje frekvencije od 17,3 MHz i valne duljine od 86 µm. Za pukotine manje od 6 µm u promjeru koristi se RF oblik signala pri svakoj poziciji pretvarača i tehnika je nazvana RFS (eng. RF sample image). RF – promjene su promjene u radio frekvenciji promjera odjeka signala koje utječu na kontrast slike. Mogućnost primjene ovih vrsta tehnika najčešće je za plastične i metalne (alumijske folije – trilaminatni filmovi) ambalažne materijale. Stvaranje slika temelji se na precizno usmjerenom ultrazvučnom pretvaraču promjera 6,35 mm, sa „puls – jeka“ bočnom širinom usmjerenog snopa (173 µm, -6dB). Ultrazvučni pretvarač može biti različito pozicioniran preko najčešće postavljene pravokutne površine koja se ispituje. Vremenski odziv potreban da bi došlo do stvaranje slike ovisi o maksimalnoj očekivanoj refleksiji materijala koji se obrađuje. Vrijednost vremenskog odziva određuje se eksperimentalno. Za svaki ispitivani materijal vrijednost vremenskog odziva određena je specifičnim kalibracijskim postavkama. Primjenom RF metode moguća je detekcija pukotina svih veličina stvaranjem nekoliko slika u nizu za svake nove postavke. Za velike kao i za umanjene procjepe potrebno je pronaći pukotinu gdje je vrijednost refleksije s površine ambalažnog materijala jednaka vrijednosti kao da pukotina niti ne postoji. Za takve vrste mjerenja akustično strujanje je puno duže. Vremenski odziv gdje refleksija s promatrane površine (µs) dostiže svoj maksimum može se izračunati iz slijedećeg izraza (3):

$$s = \frac{4d}{c_{ave}} f_{samp} \quad (3)$$

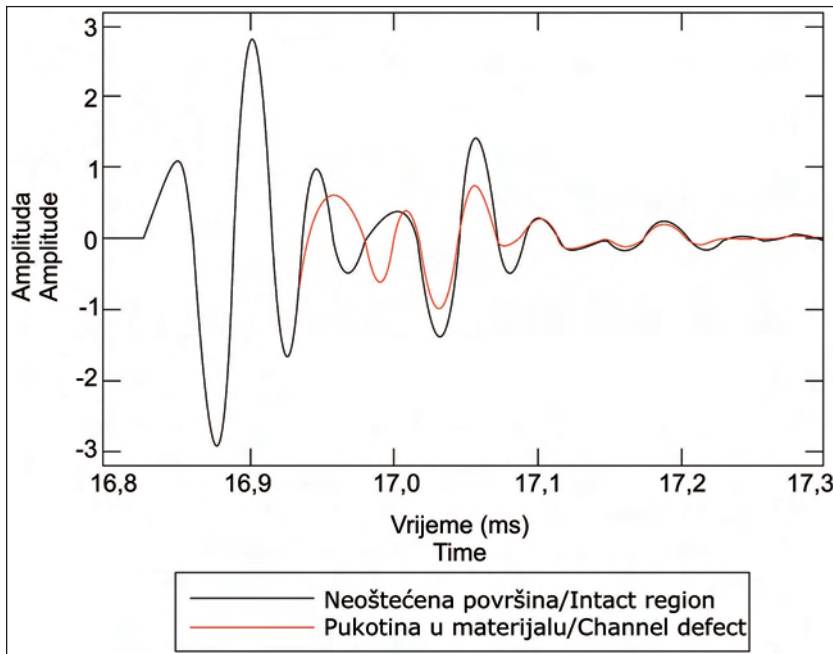
gdje je: d – debljina jednog sloja filma;  $c_{ave}$  – prosječna brzina ultrazvučnog vala kroz materijal;  $f_{samp}$  - frekvencija pri kojoj se provodi mjerenje

Za višeslojne materijale debljina sloja je oko 110 µm s prosječnom brzinom kroz materijal od 2380 m/s i primjenom frekvencijom od 500 MHz. Alumijske folije su debljine 120 µm, prosječnom brzinom od 2460 m/s (Fraizer i sur., 1997).

Puna linija predstavlja vremenski odziv neoštećene površine. Isprekidana linija predstavlja vremenski odziv pukotine koja je u promjeru 38 µm (Yin i sur., 2004). Na slici 5 se vidi da dva odjeka imaju istu vrijednost amplitude između dva vremena odziva (round – trip times RTT) i to od 16,82 i 16,92 µs što odgovara refleksiji prednje strane ambalažnog materijala koja se promatra. Vrijeme odziva stražnje strane ambalažnog materijala iznosi 17,01 µs. Razlika između odziva prednje i stražnje strane odgovara udaljenosti od oko 100 µm. Važno je napomenuti da odziv s neoštećene površine nije nula i da vremenski odziv od prednje i stražnje stranice ambalažnog materijala nije značajan (vremenski interval je vrlo mali) (Yin i sur., 2004).

Navedeni ambalažni materijal ima višeslojnu strukturu. Iz tog se razloga ultrazvučni val, tijekom širenja, susreće s nizom različitih prepreka:

1. prednja strana ambalažnog materijala
2. dodirne točke između slojeva ambalažnog materijala
3. toplinski spojena područja između dvije plastične plohe



**Slika 5.** Odnos između vremena odziva i primijenjene amplitude između čiste površine i pukotine ambalažnog materijala.

**Figure 5.** Relation between time response and applying amplitude between clear area and damaged packaging materials.

4. otpor same pukotine
5. odstupanje od idealne ravne plohe oko same pukotine
6. stražnja strana ambalažnog materijala.

Vodom ispunjene pukotine u slojevitim ambalažnim materijalima predstavljaju mala geometrijska područja koja pružaju različite vrijednosti otpora u odnosu na okolnu sredinu. Analizirana oštećenja (primjenom različitih tehnika visoko kontrastne slike eng. „high contrast image“) ambalažnog materijala stvaraju se na sljedeći način: spajanjem dva plastična filma pomoću zagrijane volframove žice koja se postavlja na jednu od odabranih strana (slika 6). Volframova žica ili tzv. „traka za zagrijavanje“ zagrijava se do određene temperature, najčešće do 130 °C. Vrijeme obrade ovisi o željenom konačnom efektu i iz tog je razloga promjenjivo. Tijekom obrade navedeni se slojevi spoje zajedno i uzorak se potom hladi na sobnu temperaturu. Nastale pukotine mogu biti različitih dimenzija radi čega se proizvode wolframove niti odgovarajućih promjera. Nakon hlađenja wolframove žice izvlačenje se vrši u aksijalnom smjeru iz spojenih plastičnih filmova i istovremeno se uranjaju u vodu kako bi došlo do stvaranja vodom ispunjenih pukotina (Yin i sur., 2004).



**Slika 6.** Presjek stvaranja oštećenja između dva plastična filma upotrebom wolframove niti

**Figure 6.** Cross – section of formation defect between two plastic films using a heat wolfram wire

Nastala oštećenja različitih promjera koja su najčešće eliptičnog oblika potvrđuju se tehnikom mikroskopiranja (analizom optičke slike) upotrebom svjetlosnog mikroskopa. Promjer oštećenja ovisi i o promjeru volframove žice koja je upotrijebljena tijekom njegovog kreiranja. Prije stvaranja akustične slike potrebno je za svaku poziciju pretvarača s odabranom širinom snopa napraviti potrebne korekcije ukoliko na površini ambalažnog materijala postoje nedostaci ili pogriješke koje bi mogle utjecati na apsolutno vrijeme prve refleksije za svaku širinu ultrazvučnog snopa. Usklađenost se postiže poravnavanjem (korekcijom) signala kada tlak dostigne svoju maksimalnu vrijednost. Ovaj način mjerenja ima svoje prednosti jer prva refleksija s površine ambalažnog materijala ima najvišu vrijednost amplitude (Raum i sur.,1998; Fraizer i sur., 1997).

BAI metoda kreiranja slike zasniva se na BAI vrijednostima. Vrijednosti su određene za svaku poziciju pretvarača prateći promatranu površinu najveće veličine zaprimljenog povratnog signala. Slike dobivene BAI metodom dobivene su interpolacijom BAI vrijednosti promjenom pozicije pretvarača. Prosječna  $\Delta BAI$  vrijednost je razlika između BAI vrijednosti s oštećenjem (pukotina) i BAI vrijednosti neoštećene površine (pozadina) ambalažnog materijala i ovisi o promjeru nastale pukotine, vrsti materijala (kemijskom sastavu) unutar same pukotine, vrsti i sastavu ambalažnog materijala i postavkama pretvarača tijekom snimanja (obrade). Promjene u radio – frekvenciji (RF) povratnog valnog oblika utječe i definira kontrast slika (Fraizer i sur., 1997; Ozguler i sur.,2001).

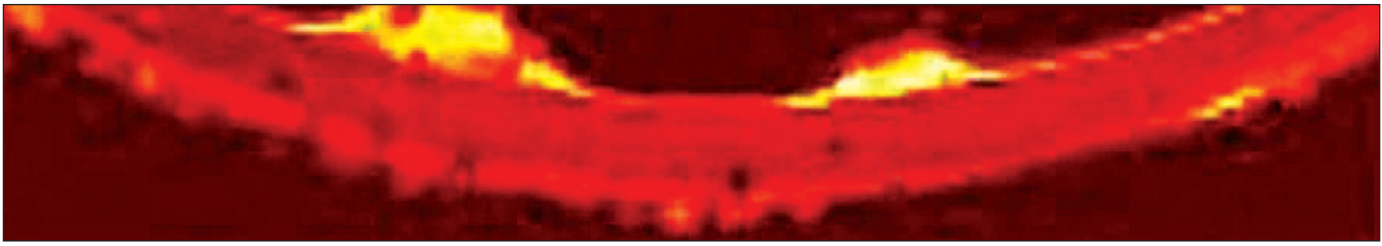
$\Delta BAI$  se može izraziti sljedećom jednadžbom (4):

$$\Delta BAI = BAI_{\text{pozadina}} - BAI_{\text{pukotina}} \quad (4)$$

### Ultrazvučno skeniranje: primjena ultrazvuka niskog intenziteta tijekom detekcije spojnih mjesta zavarenih poklopaca

Kritična spojna mjesta ambalažnog materijala kao i nedovoljno dobro zavareni poklopci na plastičnoj ambalaži dovode do mogućnosti lake i brze kontaminacije upakiranog proizvoda. Proizvodi takvog tipa tj. neadekvatno upakiran proizvod može dovesti do neželjenih posljedica kao što je ozbiljno ugroženo zdravlje pojedinca trovanjem pokvarenom hranom kao i ugrožavanja zdravlja velikog broja populacije (Canty i sur., 2004).

Istraživanje koje je temeljeno na ispitivanju savitljive (fleksibilne)



**Slika 7.** Dvodimenzijski presjek spojnog mjesta plastične čaše i poklopca dobivenog pri temperaturi od 180 °C (Canty i sur., 2004).  
**Figure 7.** Two – dimensional cross – section of plastic glass and the lid obtained by temperature of 180 °C (Canty et al., 2004).

ambalaže (zavarenih poklopaca na čašama za jogurt) dovelo je do zaključka da bi prikladna ambalaža morala zadovoljavati sljedeće kriterije:

1. Čvrstoća spojnog mjesta. Potrebno je postići odgovarajućuravnotežu između inicijalne sile potrebne za otvaranje i lakog otvaranja gotovog proizvoda primjenom te sile.

2. Tehnika podrazumijeva i način na koji se pojedini proizvod (ambalažni materijal) drži tijekom otvaranja kao i kut pod kojim se skida poklopac sa čaše.

3. Ako je sila potrebna za skidanje poklopca veća od sile koju čovjek veće tjelesne snage može postići onda za takav ambalažni materijal sa sigurnošću možemo reći da nije adekvatan (Canty i sur., 2004).

Ovakav pristup razvoju novih ambalažnih materijala kao i modifikacija postojećih nepravilnosti mijenjajući njegova funkcionalna svojstva dovodi do rješenja problema čime se poteškoće ovoga tipa mogu svesti na najmanju moguću mjeru. Neispunjavanje ovih zahtjeva u cijelosti dovode do razvoja visokog rizika čime bi dizajn novih ambalažnih materijala bio ugrožen mogućnošću nastajanja neželjenih nedostataka koje bi dovele do potpuno neupotrebljivog i nerentabilnog novog proizvoda. Ultrazvučno skeniranje provodi se tehnikom slanja i primanjem reflektiranih ultrazvučnih valova s promatrane spojne površine. Količina reflektiranih valova ovisi o kontaktnoj površini između plastične ambalaže i poklopca koji daju realnu sliku spojnih i ne spojnih mjesta. Zavarivanje poklopaca provodi se zagrijavanjem kontaktne površine pri temperaturama od 180 – 230 °C. Dobivena slika sadržava tamna mjesta koja definiraju loša spojna mjesta dok su svijetla područja refleksija dobrih spojnih mjesta dobivenih savršenom simetrijom (okomito) primijenjene sonde što se u konačnici manifestira visokim refleksijskim koeficijentom (slika 7) (Canty i sur., 2004).

## Zaključak

Relativna jednostavnost opisanih tehnika primjene ultrazvuka niskog intenziteta kao i njezina efikasnost i točnost svrstava ove tehnike među najbolje tehnike detekcije stranih tijela unutar upakiranog gotovog proizvoda. Tehnike se mogu primijeniti na široki spektar prehrambenih ambalažnih materijala pri čemu ne izazivaju fizikalno – kemijske promjene u namirnici kao niti na unutarnjoj površini ispitivanog ambalažnog materijala.

## LITERATURA:

- Ahvenainen R., (2003) *Novel food packaging techniques*, CRC press, Boca Raton, New York, Washington, DC.
- Benenson, W., Harris, J.W., Stocker, H., Lutz, H. (2002) *Handbook of physics*, Springer- Verlag, New York, 313-314.
- Bhardway M.C. (1997) Innovation in non – contact ultrasonic analysis: applications for hidden objects detections, *Materials Research Innovations* 1, 188 – 196.
- Brnčić, M., Markučić, D., Omelić, M., Tripalo, B., Ježek, D., (2009) Primjena ultrazvuka niskog intenziteta pri otkrivanju stranih tijela u prehrambenim sustavima, *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam* 4, str. 18 – 22.
- Canty L.A., Yoxall A., Lewis R., Marshall M.B. *Inclusive Engineering: Relating Packaging Properties to Humans*, Engineered Packaging Research Group, Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, S1 3JD.
- Fraizer C.H., Ozguler A., Morris S.A., O'Brien W.D Jr. (1997) High contrast images of defects in food package seals, IEEE Ultrasonic symposium.
- Hæggström E., Luukkala E. (2001) Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products *Food Control* 12, 37 – 45.
- Krstelj, V. (2003) *Ultrazvučna kontrola*, FSB Zagreb.
- Mason, T.J. (1998) Power ultrasound in food processing- The way forward. In M.J.W.Povey & T.J. Mason (ured.), *Ultrasound in food processing*, London: Blackie Academic & Professional, 103-126.
- Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lorimer, J.P. (1996) The Uses of Ultrasound in Food Technology. *Ultrasonic Sonochemistry* 3, 253-260.
- McClements, D. (1997) Ultrasonic Characterization of Foods and Drink: Principles, Methods and Applications. *Food Science and Nutrition* 37, 1-46.
- Mittendorfer J., Bierbaumer B.J., Gratzl F., Kellauer E. (2002) Decontamination of food packaging using electron beam – status and prospects *Radiation Physics and Chemistry* 63, 833 – 836.
- Ozguler A., Morris S.A., O'Brien W.D Jr. (2001) Ultrasonic monitoring of the seal quality in flexible food packages. *Polymer Engineering and Science* 41 (5) 830 – 839.
- Raum K., Ozguler A., Morris S.A., O'Brien W.D Jr. (1998) Channel defect detection in food packages using integrated backscatter ultrasound imaging, IEEE Transaction on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency control 45 (1) 30 – 39.



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

Yin X., Morris S.A., O'Brien W.D Jr. (2004) Ultrasonic Pulse – Echo subwavelength defect detection mechanism: Experiment and simulation *Journal of Nondestructive Evaluation* 22 (3) 103 – 115.

### **Autori/Authors**

*Tomislav Bosiljkov, dipl. inž.*  
*Sveučilište u Zagrebu*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*

*Sven Karlović, dipl. inž.*  
*Sveučilište u Zagrebu*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*

*Dr. sc. Branko Tripalo, red. prof.*  
*Sveučilište u Zagrebu*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*

*Dr. sc. Mladen Brnčić, doc.*  
*Sveučilište u Zagrebu*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*

*Dr. sc. Damir Ježek, red. prof.*  
*Sveučilište u Zagrebu*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*

*Dr. sc. Suzana Rimac Brnčić, doc.*  
*Sveučilište u Zagrebu*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*

*Antonija Penava,*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*

*Dr. sc. Damir Karlović, prof. emeritus*  
*Sveučilište u Zagrebu*  
*Prehrambeno-biotehnološki fakultet*  
*Pierottijeva 6*  
*10000 Zagreb, Hrvatska*