

# Animal welfare, etológia és tartástechnológia



## Animal welfare, ethology and housing systems

Volume 15

Issue 1

Gödöllő  
2019



## TOJÁS MINŐSÉGÉNEK ÉS A HÉJ REPEDÉSÉNEK RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATA

*Kertész István<sup>1</sup>, Zsomné Muha Viktória<sup>1</sup>, Zsom Tamás<sup>2</sup>, András Rebeka<sup>1</sup>, Nagy  
Dávid<sup>1</sup>, Felföldi József<sup>1</sup>*

Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar <sup>1</sup>Fizika-Automatika Tanszék, <sup>2</sup>Árúkezelési és  
Érzékszervi Minősítési Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

[kertesz.istvan@etk.szie.hu](mailto:kertesz.istvan@etk.szie.hu)

Received – Érkezett: 03. 11. 2017.  
Accepted – Elfogadva: 28. 03. 2019.

### Összefoglalás

Kísérletünk célja a tyúktojás minőségének jellemzése, illetve a héjának repedésvizsgálata volt akusztikus módszerrel. A mérés során összesen 150 tojás került vizsgálatra. A mintákat 7 héten keresztül szobahőmérsékleten tároltuk. A minták megütése (kis energiájú akusztikus gerjesztése) 2 pozícióban (állítva, illetve fektetve) történt. A kapott jel spektruma és wavelet transzformáltja került elemzésre. Az előfeldolgozást követően kapott adatokat használtuk bemeneti változókként a mért fizikai paraméter becslésére. Ehhez PLS regressziót (Partial Least Squares Regression) használtunk. Az illeszkedés jóságát mutató (goodness-of-fit, GoF) statisztika segítségével határoztuk meg a módszerek alkalmasságát. Spektrális adatok alapján a mintákat a repedés jelenléte és a kor alapján csoportosítottuk, ehhez lineáris diszkriminancia analízist (LDA) használtunk. Minden becslés 10-szeres keresztvalidációval történt. A legjobb becslést a tömegre kaptuk, abban az esetben, amikor a tojás csúcsi részre állva került megütésre. Az optimális jelfeldolgozással kapott paraméterek alapján a minták 100%-osan csoportosíthatók voltak a repedés jelenléte, illetve a tojás tárolási ideje alapján.

**Kulcsszavak:** akusztikus, tojás, repedés

### NON-DESTRUCTIVE QUALITY EVALUATION AND CRACK DETECTION OF EGGS

#### Abstract

Our aims were the examination of the quality parameters of hen eggs and crack detection carried out by the use of the acoustic response technique. Altogether 150 eggs were tested during the measurement. The samples were stored for 7 weeks at ambient (room) temperature. The samples were excited in two positions (upright and horizontal). The received signal spectra and their wavelet transformations were analyzed. After the preprocessing, the obtained coefficients were used as input variables for the estimation of the physical parameters by partial least squares regression. Goodness of fit (GoF) statistics were used to evaluate the applicability of the method. Spectral data were used for classification by crack presence and age by linear discriminant analysis. Every estimation was validated by 10-fold cross-validation. Best approximations were achieved for mass in case of measured in the upright position of the egg sample. With the optimum signal processing parameters the samples can be classified 100% correctly for crack detection and age estimation as well.

**Keywords:** acoustic, eggshell, crack

## Irodalmi áttekintés

A tojás élettani szempontból jelentős élelmiszer köszönhetően magas tápértékének, valamint a benne lévő vitaminoknak és ásványi anyagoknak. Az előbb említett tulajdonságok miatt a fogyasztói igény egyre nő a tojás iránt. Ezért a roncsolásmentes vizsgálati módszerek fejlesztése kiemelkedő fontossággal bír, hogy becsülhessük a tojás fizikai paramétereit, illetve minőségét. Ilyen vizsgálendő tulajdonságok lehetnek például a tojáshéj épségének vizsgálata (repedések jelenléte) valamint a tojás fehérje-sárgája arányának meghatározása. Ezen jellemzők közül több is ipari jelentőséggel bír, pl. a tojáshéjnak, mint a tojáspor előállítás melléktermékének további gazdasági értéke van, köszönhetően annak, hogy hozzáadott értékű termék állítható elő belőle. A tojás bizonyos paramétereit összefüggésben állnak a minőséggel, későbbi felhasználhatósággal, értékesíthetőséggel, amely változik a tárolás során, ilyen például a légkamara mérete, a tojásfehérje viszkozitása és összetétele, ezért fontos ismerni a tojás korát.

Zhang és mtsai (2015) hiperspektrális képalkotás módszerével vizsgálták a tojás frissességét. A frissesség becslés jóságát leíró RMSEP% (Root Mean Squared Error of Prediction) statisztikai jellemző 4,01% volt, a légkamra méretének és a tojás sárgája épségének meghatározására Support Vector Machine (SVM) módszert használtak, melynek pontossága 90,0% volt légkamra esetében és 96,3% volt a sárgája épsége esetében. Az akusztikus mérési módszer alkalmas arra, hogy roncsolásmentesen információt kapjunk a minta belső tulajdonságairól (Zsom-Muha et al., 2007). Pan et al. (2005) a tojások rezonancia frekvenciáját vizsgálták a tojás középvonalát ért mechanikai behatás után és 87%-os eredményt értek el repedés detektálása során. Hasonló eredményt (87,5%-ot) értek el Zhu és mtsai (2012) akusztikus módszert használva, a sérült és ép minták szétválasztását a Bayes-tétel alapján végezték. Cho és mtsai (2000) is kifejlesztettek egy algoritmust a tojáshéj repedésének detektálására, ami az akusztikus jellemzők alapján diszkriminancia analízist alkalmazásával. Ép tojás esetében 6%-os, és repedt tojás esetében 4%-os osztályozási hibát értek el. Egy érdekes kísérleti módszert használtak a repedés vizsgálatára Jin és mtsai (2015), akik a tojásminták gerjesztését 7 lépcsős elrendezésben valósították meg, melyeken a minták legördültek, így nem volt szükség külső gerjesztésre és a fizikai erőhatás mértéke azonos volt. Ez a mérési elrendezés az ipari megvalósíthatóságot és az egyszerű kivitelezhetőséget helyezte előtérbe. Ezzel az elrendezéssel képesek voltak meghatározni az optimális lépcsőszámot a kívánt osztályozási pontosság eléréséhez, de csak 90%-os helyes osztályozást értek el Mahalanobis-távolság alapján, a módszer azonban további algoritmikus finomítás segítségével tovább javítható.

Általános probléma a fent idézett cikkekkel kapcsolatban, hogy nem publikálták a validációs eredményeket, ezért megbízható következtetések nem vonhatók le az alkalmazhatóságot illetően. Bain és mtsai (2016) publikációjukban a dinamikus keménységvizsgálaton ( $K_{dyn}$ ) alapuló módszer ipari alkalmazhatóságát vizsgálták tojáshéj repedésének azonosítására. Megállapították, hogy a ténylegesen repedt tojások száma kétszer annyi volt, mint a termelő által becsült érték. Attar és Fathi (2014) mérték a tojáshéj, fehérje és sárgája rezonancia frekvenciáját, a rezonancia frekvencia és a tojáshéj szilárdsága között a korreláció 0,97-nek, a rezonancia frekvencia és a keménység között a korreláció 0,91-nek bizonyult.

A folyamatosan fejlődő számítási kapacitási háttérnek köszönhetően az úgynevezett „wavelet-transzformáción” alapuló módszerek egyre jobban teret hódítanak. Li és mtsai (2012) a tojáshéj repedésének vizsgálatára egy wavelet-transzformáción és bayesi diszkriminancián alapuló módszert fejlesztettek ki MATLAB környezetben. A szerzők azonban nem publikálták a módszerük megbízhatóságát, cikkükben mindössze azt közölték, hogy az eredmények kielégítőek voltak és a helyes csoportba sorolás mértéke 95% feletti volt. Hasonlóan Deng és mtsai (2010)

wavelet-transzformáció alapú repedés meghatározást és SVM szétválasztást végeztek és csak a maximális repedésdetektálási pontosságot (98,9%) közölték.

A vizsgálatunk célja annak a meghatározása, hogy a tojás milyen minőségi paraméterei és mekkora megbízhatósággal becsülhetők roncsolásmentes akusztikus vizsgálatral és többváltozós statisztikai módszerekkel.

## Anyag és módszer

150 darab repedésmentes, 53 és 63 g közötti tömegű tojás vizsgálatát végeztük, melyek tárolása 21-23°C hőmérsékleten, 50-70%-os relatív páratartalom mellett történt álló pozícióban (légkamrával lefelé). A minták alakját számítógépes látórendszerrel határoztuk meg, az ezt leíró alak tulajdonsági mutatószámok kinyerésével (ovalitás, excentricitás). A rendelkezésre álló tojásokat minden héten akusztikus vizsgálatnak vetettük alá, majd közülük hetente 20 darabot roncsolásos vizsgálati módszerekkel is megmértünk, így hetente 20-szal csökkent a minták száma. A roncsolásos vizsgálat során mikrorepédést hoztunk létre a minták légkamrával szemközi csúcán, így is elvégezve az akusztikus mérést. Az akusztikus vizsgálat során a gerjesztést egy üreges fémpálcával, egyszeri megütéssel végeztük a mintákat egy hangszigetelő szivacsra helyezve, álló és fekvő pozíciókban (1. ábra). Az ütés által gerjesztett hangot a szivacsba vágott üregbe helyezett mikrofonnal vettük fel, amelyet egy Hewlett-Packard 53670A jelanalizátorra kötöttünk, az ebből érkező jelet pedig egy számítógépen rögzítettük 96 kHz-es mintavételezéssel, veszteségmentes formátumban. A hangfájlokat MATLAB R2012a környezetben fejlesztett célprogrammal elemeztük.

**1. ábra:** Kísérleti elrendezés, a szaggatott vonal a minta fekvő, a folytonos vonal a minta álló pozícióját jelzi

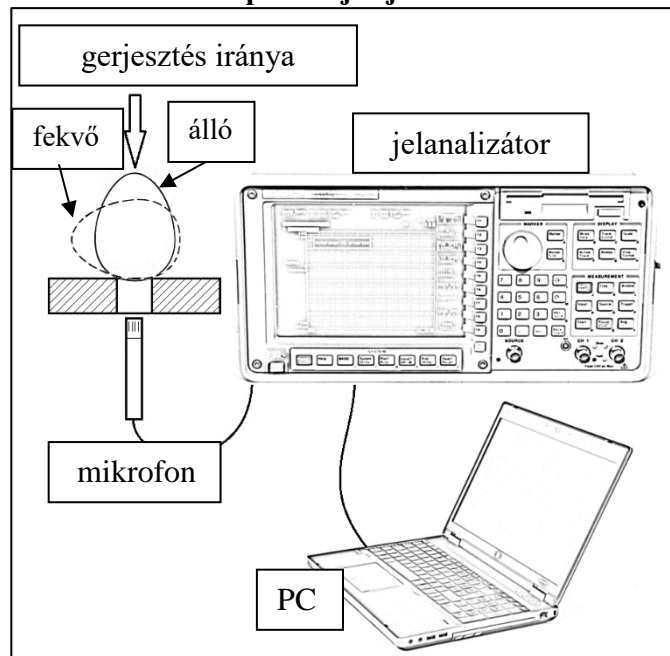


Figure 1: Experimental setup, dashed line shows horizontal, continuous line shows the upright position of the sample

A tojás ovalitása a hossz és szélesség arányaként került meghatározásra, míg az excentricitás azon pont által a hossz tengelyen kijelölt két szakasz arányát jelöli, ahol a legnagyobb átmérő elmetszi a hossz tengelyt. Mivel ezen mérőszámok becslése nem hozott jó eredményt, a rájuk vonatkozó eredményeket nem szerepeltettük az eredményeket összefoglaló táblázatban. Az apadás a minta teljes tömegéhez viszonyított százalékos veszteséget mutatja (g/g%). A tojás héj vastagsága tolómérő segítségével, mintánként három párhuzamos méréssel került meghatározásra, a fehérje szárazanyag-tartalmát 105°C-on, 8 óra hosszú szárítószekrényben történő szárítással állapítottuk meg.

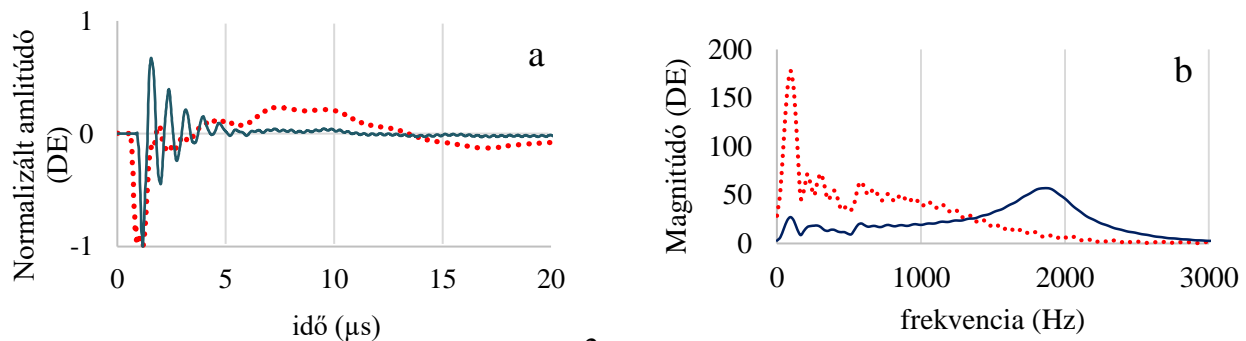
A hangfájlok feldolgozását egy wavelet-alapú zajszűréssel kezdtük, ehhez a MATLAB egy beépített függvényét használtuk, melynek paraméterezését a vizsgált jeleknek megfelelően optimalizáltuk. Ezt követően gyors Fourier-transzformációval (FFT) kinyertük a Fourier-együtthatókat az álló és fekvő pozíciókra, 0 és 3000 Hz közötti tartományon 512 adatpontot kinyerve, ezeket PLS regresszióhoz bemenő paraméterekként használtuk fel a vizsgált jellemzők becslésére. A jeleken folytonos wavelet-dekompozíciót végeztünk lineáris méretnövelésű Paul anyawaveletek alkalmazásával, majd a kinyert wavelet-együtthatókat vektorba rendezve főkomponens-analízist végeztünk. Ezek közül kiválasztottuk azt az 512-t, amely a variancia legnagyobb részét leírta, és eszerint csökkenő sorba rendezve használtuk fel őket a későbbiekben PLS regresszióra. A regressziós modell illeszkedésének jóságának vizsgálatát korrigált  $R^2$ , RMSEP%, RMSECV% (kereszt-validáció átlagos eltérésnégyzet gyökének terjedelemez viszonyított százalékos értéke) és RPD (Residual Predictive Deviation, RMSE és szórás aránya) statisztikai mutatószámok segítségével végeztük. A becslés validációját tízszeres kereszt-validációval végeztük, ez megbízhatónak bizonyult validáció céljára, ennél alaposabb vizsgálat aránytalanul sok időt igényelt volna, és nem javított volna számottevően a validáció megbízhatóságán. A számítás sebességének ipari esetben is reális keretek között tartása érdekében a regresszió látens változóinak számát 250-ben maximalizáltuk.

A repedések és a vizsgálat idejének (hetének) becslésére lineáris diszkriminancia-analízist végeztünk. Ehhez a jeleket eltérő méretű FFT ablakokkal (2048, 4096, 8192), és a spektrum felbontását befolyásoló, teljes jelhosszt növelő szorzókkal (2, 4, 8) vizsgáltuk, a létrehozott új jelszakaszt nullákkal kitöltve. A megnövekedett felbontás nagyobb számú, a becsléshez felhasználható változót jelent a pontosabb eredmény reményében. A túlillesztettséget elkerülendő az osztályozást is tízszeres kereszt-validációval ellenőriztük.

## Eredmények

Az egyes pozíciókban felvett jelek a minták között magas, az álló pozícióban 0,96-os, fekvő pozícióban 0,92-es R értékű korrelációt mutattak. A jellemző jelalakokat és azok spektrumait a 2. ábra szemlélteti.

**2. ábra: Jellemző jelforma (a) és jelspektrum (b) álló pozícióban (folytonos vonal) és fekvő pozícióban (szaggatott vonal)**



2.

Figure 2: Characteristic signal shapes (a) and spectra (b) for upright position (continuous line) and horizontal position (dashed line)

Az egyes becült paraméterekhez tartozó, regresszió jóságát jelző statisztikai mutatószámokat az 1. táblázat tartalmazza.

**1. táblázat: PLS regresszió GoF statisztikája wavelet-koefficiensek alapján (a) és Fourier-koefficiensek alapján (b)**

a		tömeg (3) (g)	apadás (4) (g/g %)	sárgája tömege(5) (g)	héj tömege(6) (g)	héj vas- tagsága(7) (mm)	sárgája/fe- hérje(8) (g/g)	fehérje sz.a.(9) (g/g%)
álló(1)	$R^2_{adj}$	0,81	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	RPD	1,50	1,25	1,02	1,05	1,02	1,14	1,06
	RMSEP%	5,01	3,63	7,61	4,24	4,20	7,44	5,16
	RMSECV%	10,61	9,25	23,70	12,96	13,10	20,96	15,67
fekvő(2)	$R^2_{adj}$	0,71	0,84	0,80	0,81	0,81	0,81	0,79
	RPD	1,27	1,28	1,01	1,04	1,01	1,08	1,01
	RMSEP%	6,17	3,63	7,58	4,27	4,18	7,50	5,17
	RMSECV%	12,46	9,01	24,10	13,03	13,29	22,12	16,40
b		tömeg (g)	apadás (g/g %)	sárgája tömege (g)	héj tömege (g)	héj vastagsága (mm)	sárgája/fe- hérje (g/g)	fehérje sz.a. (g/g%)
álló(1)	$R^2_{adj}$	0,89	0,88	0,87	0,87	0,88	0,88	0,87
	RPD	1,59	1,22	1,14	1,09	1,00	1,17	1,06
	RMSEP%	5,01	5,62	7,62	4,26	4,15	7,43	5,16
	RMSECV%	11,31	9,47	22,51	12,08	13,25	19,48	15,80
fekvő(2)	$R^2_{adj}$	0,82	0,89	0,88	0,88	0,89	0,88	0,88
	RPD	1,32	1,43	1,04	1,10	1,01	1,14	1,02
	RMSEP%	5,03	3,62	7,43	4,19	4,18	7,39	5,01
	RMSECV%	11,39	9,11	24,30	12,36	12,77	22,40	15,57

Table 1: GoF statistics of PLS regression based on wavelet-coefficients (a) and Fourier-coefficients (b).

(1)upright, (2)horizontal, (3)mass, (4)mass loss, (5)volk mass, (6)shell mass, (7)shell thickness, (8)volk/albumen, (9)albumen dw,

A diszkriminancia-analízis eredményeit a 2. táblázat foglalja össze. Mindkét pozíció esetén az ablak méretének növekedése csökkenő becslési hibát eredményezett, ahogy az várható volt, azonban a szorzó nagysága nem mutatott ilyen egyértelmű trendet. Általánosan a fekvő pozícióban alacsonyabb hiba volt tapasztalható, ez a különbség csökkent a kereszt-validációval.

## 2. táblázat: LDA osztályozási hibája a különböző FFT beállítások függvényében

ablakméret(3)	szorzó(4)	becslés hibája (%) (1)				validáció hibája (%) (2)			
		repedés(5)		tárolási idő(6)		repedés(7)		tárolási idő(8)	
		álló	fekvő	álló	fekvő	álló	fekvő	álló	fekvő
2048	2	6,96	9,38	2,98	6,39	15,20	15,34	10,37	11,51
	4	10,08	3,41	3,13	0,85	21,59	21,88	21,02	19,17
	8	10,65	0,43	5,11	0,00	29,97	30,26	31,96	31,96
4096	2	3,84	4,40	0,14	0,42	22,59	23,72	11,93	12,93
	4	2,98	0,00	0,28	0,00	30,82	34,09	20,60	22,02
	8	5,53	0,00	0,71	0,00	28,41	29,26	22,30	18,89
8192	2	0,28	0,43	0,00	0,00	29,26	31,25	12,64	14,49
	4	1,27	0,00	0,00	0,00	25,43	23,44	7,10	6,53
	8	2,27	0,00	0,00	0,00	21,59	23,86	5,54	4,97

2. table: Classification error of LDA for different settings of FFT.

classification error(1), validation error(2), window size(3), multiplier(4), crack(5), storage time(6), crack(7), storage time(8)

## Értékelés

A legtöbb paraméter esetén az illesztés mutatószámai jobb eredményt adtak az FFT-együtthatók alapján, mint a wavelet-koefficiensekre alapozott becslések, ebből arra következtethetünk, hogy a számításigényes wavelet alapú módszereket (további algoritmikus optimalizálás híján) nem érdemes alkalmazni tojások vizsgálatához. Bár a geometriai paraméterek gyenge eredményeket adtak, ezek ipari szempontból kevésbé jelentősek mint némelyik, jó eredményt mutató jellemző (össztömeg, héjtömeg, fehérje szárazanyag-tartalom). Az LDA eredményeinek értékelésekor az alacsonyabb klasszifikációs hibát részesítjük előnyben, azonban figyelembe kell venni, hogy mivel gyors módszerről van szó, a számítási időnek is ipari körülmények között alkalmazhatónak kell lennie, a paraméterek magasabb értéke pedig magasabb számítási időt eredményez. Ezen kívül ipari környezetben lényeges, hogy ne legyen szükség pozíció váltására a különböző paraméterek becsléséhez, ez alapján az álló pozíció összességében jobb eredményt mutatott. Továbbá fontos megemlíteni, hogy más roncsolásmentes módszerekkel szemben nagy előnye az akusztikus vizsgálatnak, hogy azonnal képes információt szolgáltatni számos lényeges jellemzőről egyszerre, beleértve a repedések kimutatását.

### Köszönetnyilvánítás

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap (ESZA) társfinanszírozásával valósul meg (a támogatási szerződés száma: EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00005).

### Irodalomjegyzék

- Attar, M. Z., Fathi, M. M. (2014): Non-Destructive Acoustic Resonance Method for Evaluating Eggshell Strength and Thickness, *International Journal of Biophysics*, 4 (1), 9-15.
- Bain, M. M., Dunn, I. C., Wilson, P. W., Joseph, N., De Ketelaere, B., De Baerdemaeker, J., Waddington, D. (2006): Probability of an egg cracking during packing can be predicted using a simple non-destructive acoustic test, *British Poultry Science*, 47 (4), 462-469.
- Cho, H. K., Choi, W. K., Paek, J. H., (2000): Detection of surface cracks in shell eggs by acoustic impulse method, *Transactions of the ASAE*, 43 (6), 1921-1926.
- Deng, X., Wang, Q., Chen, H., Xie, H. (2010): Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine, *Computers and Electronics in Agriculture*, 70 (1), 135-143.
- Jin, Ch., Xie, L., Ying, Y. (2015): Eggshell crack detection based on the time-domain acoustic signal of rolling eggs on a step-plate, *Journal of Food Engineering*, 157, 53-62.
- Li, P., Wang, Q., Zhang, Q., Cao, Sh., Liu, Y., Zhu, T. (2012): Non-destructive Detection on the Egg Crack Based on Wavelet Transform, *International Conference on Future Computer Supported Education, IERI Procedia* 2, 372-382.
- Pan, L., Tu, K., Zhao, L., Pan, X. (2005): Preliminary research of chicken egg crack detection based on acoustic resonance analysis, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 21 (4), 11-15.
- Zhang, W., Pan, L., Tu, S., Zhan, G., Tu, K. (2015): Non-destructive internal quality assessment of eggs using a synthesis of hyperspectral imaging and multivariate analysis, *Journal of Food Engineering*, 157, 41-48.
- Zhu, Z., Wu, L., Hu, D., Wen, Y. (2012): Cracked-Shell Detection of Preserved Eggs Based on Bayes Theory in Mechanical Engineering, *2012 International Conference on Mechanical and Electronic Engineering*
- Zsom-Muha, V., Felföldi, J., (2007): Vibration Behavior of Long Shape Vegetables, *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 3, 21-46.