



Élelmiszertudományi Kar

Tanszék

TYÚKTOJÁS MINŐSÉGVIZSGÁLATA AKUSZTIKUS MÓDSZERREL

TDK Dolgozat

BALOG KRISZTINA

Élelmiszermérnök Msc. II. évf.



TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005
TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0023

Témavezető(k):

Dr. Zsorné dr. Muha Viktória,
egyetemi adjunktus
dr. Felföldi József, egyetemi tanár

**Budapest
2012**

Tartalomjegyzék:

1. Irodalmi áttekintés.....	3
1.1. Bevezetés	3
1.2. A tojás szerkezeti felépítése	4
1.2.1. A tojáshéj.....	5
1.2.2. Héj hártái.....	5
1.2.3. Fehérje.....	6
1.2.4. Sárgája.....	6
1.3. Csomagolás	8
1.4. Tojás tárolása.....	9
1.4.1. A tárolás során bekövetkező változások.....	11
1.4.1.1. Mikrobiológiai változások	12
1.4.1.2. Fehérjében bekövetkező változások.....	12
1.4.1.3. Sárgájában bekövetkező változások.....	13
1.5. Minőség meghatározása	14
2. Célkitűzés.....	17
3. Anyagok és módszerek.....	18
3.1. Akusztikus mérőberendezés	18
3.1.1. Módszer kidolgozásánál alkalmazott eszközök és beállítások	19
3.1.1.1. Gerjesztő eszköz kiválasztása	20
3.1.1.2. Alátámasztás kiválasztása	20
3.1.1.3. Ismételhetőség, reprodukálhatóság, repedésdetektálás	20
3.1.1.4. Tojás pozíciója és a megütés helyének kiválasztása	20
3.1.1.5. Lámpázás	21
3.2. Tömegmérés.....	21
3.3. Tárolási kísérlet.....	21
3.3.1. Tojások feltörése	22
4. Eredmények és értékelésük.....	23
4.1. Gerjesztő eszköz kiválasztása	23
4.2. Az alátámasztás kiválasztása.....	24
4.2.1. Alátámasztás kiválasztása frekvenciakép alapján	25
4.2.2. Az alátámasztás kiválasztása repedés detektálása alapján	25
4.2.3. Ismételhetőségi vizsgálat	28
4.2.4. A megfelelő tojáspozíció, gerjesztés és detektálás helyének kiválasztása.....	29
4.3. Tárolási kísérlet.....	30
4.3.1. Frekvenciaváltozás.....	30
4.3.1.1. Tárolás szobahőmérsékleten	31
4.3.1.2. Tárolás hűtőben.....	31
4.3.1.3. Repedés esetén tapasztalt frekvenciaváltozás	32
4.3.2. Tömegváltozás	33
4.3.2.1. Tárolás szobahőmérsékleten	33
4.3.2.2. Tárolás hűtőben.....	34
4.3.3. Frekvencia és tömeg kapcsolata.....	35
4.3.4. Tojások feltörése	36
4.3.4.1. Szobahőmérsékleten tároltak	36
4.3.4.2. Hűtőben tároltak.....	37
5. Összefoglalás	38
6. Irodalom:.....	40
6.1. Internetes forrás:	42

1. Irodalmi áttekintés

1.1. Bevezetés

A tojás rendkívül fontos szerepet játszik a kiegyensúlyozott táplálkozásban is. Az egyik legkönnyebben emészthető élelmiszerünk, amelynek magas az ásványi anyag, esszenciális aminosav és zsírsav tartalma. Fiatal korban ezek az ásványi anyagok és fehérjék biztosítják a megfelelő növekedést. Emellett alacsony kalóriatartalma miatt a diétázók is szívesen fogyasztják (Bell, 2002).

Az utóbbi pár évben a koleszterin és élelmiszer-biztonság körüli botrányok (dioxinos tojás Németországban (2011)) visszavetették a népszerűségét, nem beszélve az elmúlt hónapokban tapasztalható magyarországi árnövekedésről. 2012-ben a tojás ára 22,5%-kal nőtt egy évvel korábbihoz képest (1. ábra), ennek oka az az új EU-s rendelet, mely szerint a tyúkokat nagyobb területen szabad csak tartani, ami jelentős beruházási költségeket rótt az állattartókra (KSh, 2012). Emellett a „bio” megjelölést kapott tojások ára is nőtt, habár esetükben már korábban biztosított volt a tyúkok jobb körülmények között tartása, mivel a biotermékek ára mindig is magasabb volt, így „kénytelen” volt követni a kereskedelmi tojásár növekedését.



1. ábra: Tojásár változása Magyarországon, 2011-2012 (forrás: Opal Média és Kommunikációs Bt., www.agroinform.hu)

A tyúk házasítása óta rengeteg idő telt el. Azóta ez az állatfaj, a rendkívüli adaptációs képességeinek köszönhetően a világon mindenhol - ahol ember él - megtalálható. Tyúk húsán kívül a tojása is rendkívül fontos táplálék, fehérjetartalma a legnagyobb az összes fehérjetartalmú élelmiszer között, és számos esszenciális aminosavat is tartalmaz.

Extenzív tojástermelés létezik a legtöbb kontinensen. Többek között Kína, USA, India, Japán, Mexikó tartozik a legnagyobb termelők közé (www.top5ofanything.com). Európában a 2008-as adatok alapján Franciaország, Németország, és Spanyolország a legnagyobb tojás termelők (Zmp, www.piackutatasok.hu). Magyarország pedig bekerült Európa top 10-es listájára megelőzve a Cseh Köztársaságot. A folyamatosan változó piaci helyzet igen megnehezíti a termelők helyzetét, így sokan kényszerültek telepük vagy átalakítására, beolvasztására esetleg bezárására (Clements, 2010).

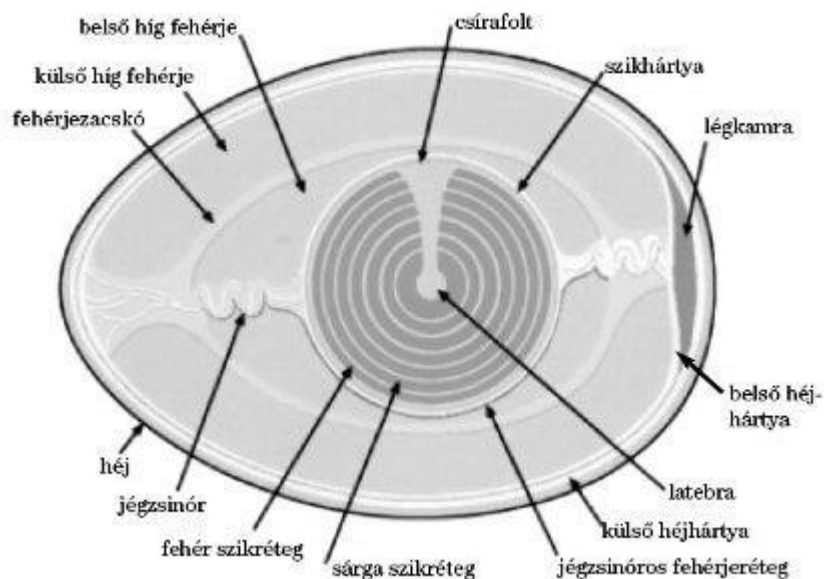
1.2. A tojás szerkezeti felépítése

A tojás belseje egy óriási petesejt, mely tartalmazza mindazokat a védő- és tápanyagokat, amelyek az utód kialakulásához és táplálásához szükségesek és mindazokat a szerkezeti elemeket, melyek védelmet nyújtanak a külső hatások és ártalmak ellen.

Kialakulása során először a petesejtet egy hártya veszi körül így alakul ki a csírákorong. Erre rakódik rá sötétebb és világosabb rétegben a sárgája. A különböző árnyalatot a nappalok és éjszakák változása okozza, a csíkokat szabad szemmel nem láthatjuk. A csírákorong a sárgája egyik felén helyezkedik el, ezután kerül a 60cm hosszú rugalmas falú petevezetékbe, ahol kialakul az eltérő sűrűségű tojásfehérje. 2-3 óra szükséges a jégzsinór kialakulásához, ami rögzíti a sárgáját a tojás közepén. A fehérjére kettős pergamen hártya épül, majd 5-6 óra múlva kialakul a meszes héj, ami porózusságának köszönhetően átengedi a gázokat és a nedvességet (Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék, 2012).

1. Táblázat: Átlagos tyúktojás fizikai paraméterei (forrás: Bell, 2002)

Mért tulajdonság	Mértékegység	Érték
Tömeg	g	56,7
Térfogat	cm ³	63
Sűrűség	g/cm ³	1,09
Hosszanti kerület	cm	15,7
Keresztirányú kerület	cm	13,7
Felület	cm ²	68



2. ábra: Tojás szerkezete (forrás: Magyar Tojás Kft.)

1.2.1. A tojánhéj

A tojás tömegének 10-12% a héj. 95% kalcium-karbonát, kevés magnézium-karbonát, 1% kalcium-foszfát, 4% szerves anyag található benne. Nyáron a tyúk vérének alacsony kalcium tartalma miatt vékonyabb a héj is. Nagy mennyiségű mikropórust tartalmaz (7500/tojás), amely lehetővé teszi a víz, gázok és mikroorganizmusok mozgását. Egy vékony film réteg, a kutikula öleli körbe a tojánhéj külső részét így a pórusokat. Megakadályozza a mikrobák bejutását kívülről és a víz eltávozását a tojás belsejéből. Mosással ez a védőréteg is eltűnik, ami problémát jelent a tojás eltarthatóságának szempontjából. A kereskedelmi tojások esetében nem megengedhető a szennyezett héj, ezért csomagolás előtt egy mosási és fertőtlenítési eljárásnak esnek át. Mivel ezzel a folyamattal a kutikula eltávolítása is megtörténik, a kutatók a tojánhéj felszínének különböző anyagokkal történő bevonásával kísérleteznek, így próbálják csökkenteni a tömegvesztést, a külső befertőződést, növelve a tojások minőségmegőrzési idejét.

A héj ovális alakja és könnyű szerkezete rendkívül ellenáll a nyomásnak, külső terheléseknek, igénybevételnek. A normál tojánhéj ellen tud állni 3-4 kg/cm² nyomásnak mielőtt eltörne.

A természetben nagyon sokféle, fajra jellemző szín található meg. A csirketojásra jellemző fehér, sárga, barna különböző árnyalati és akár a kék-zöld szín is. Európában általában a barna tojást kedvelik, az USA-ban a fehér tojást részesítik előnyben (Bell, 2002).

1.2.2. Héj hártyái

A héj hártyájának két típusát különböztetjük meg: a külső vastagabb, melynek feladata a

tojás védelme, és a belső, mely a tojásfehérjével van közvetlen kapcsolatban. A héj membránjai magas rosttartalmúak, átengedik a nedvességet és gázokat (O_2 , CO_2), képes védelmet biztosítani a legtöbb mikroba ellen. A kitojt tojás rendkívül gyorsan kihűl, miközben veszít a nedvességéből, ekkor keletkezik a légkamra a tojás tompa végén a két membrán között. A légkamrának a mérete az egyik módja a tojás életkorának meghatározására és a lámpázás¹ során segít a minőségbecslésben is (friss tojásnál általában 5mm). A légkamra nagysága a tojás sűrűségével is összefüggésben van. Sűrűség mérésére egy igen egyszerű módszer a vízbe merítés. A friss tojás nagy sűrűsége miatt elmerül; minél régebbi a tojás annál jobban közelít a felszínhez. Ahogy a tyúk öregszik úgy változik a tojás sűrűsége is, mivel változik a fehérje, sárgája és héj megoszlása (Bell, 2002).

1.2.3. Fehérje

A fehérje 58-60%-át teszi ki a tojás tömegének. Aránylag sok vizet (85,5%) tartalmazó kolloid oldat, legnagyobb részt fehérjéből (14,5%) áll, valamint kis mennyiségben B-vitamin hatású anyagot is tartalmaz. A fehérje négy részből áll: 2 sűrű és 2 híg rész, melyek felváltva követik egymást.

Belső, sűrű rész: a sárgája közvetlen közelében helyezkedik el, a teljes fehérjetérfogat mindössze 3%-át tartalmazza. Erős, kemény, szilárd fehérjéből épül fel gélre jellemző tulajdonságokkal bír és ovomucint tartalmaz nagy mennyiségben. Emellett rostok is találhatók, melyek jégzsinórrá csavarodnak, így tartva meg a tojássárga megfelelő pozícióját megvédve azt a rázkódástól. A másik, külső, sűrű fehérje réteg a térfogat 57%-át teszi ki.

Vékony fehérjerétegnél a külső 23% a belső 17% a teljes fehérje térfogatnak, legnagyobb részt ovomucint tartalmaz. A tojásfehérje a fejlődő embrió számára védelmet nyújt, továbbá víz- és iontárolóként, valamint fehérjeforrásul szolgál.

A vastag és vékony fehérje közötti megoszlás genotípus és fenotípus alapú. Fajta, tenyésztés, nevelés a fehérje megoszlását megváltoztatja, a tyúk és a tojás korával együtt nő a vékony fehérje mennyisége is (Bell, 2002).

1.2.4. Sárgája

A sárgája 30-32%-a tojás egész tömegének. Kevesebb vizet tartalmaz (50%) mint a fehérje, de kalóriatartalma hatszor akkora. Magas zsírtartalma, főleg nem glicerid jellegű vegyületet (pl.: koleszterin) és lecitint tartalmaz. Biológiai értéke nagy, az esszenciális zsírsavaknak és a bennük oldott A- és D-vitaminnak köszönhetően. Külső hártýából (vitellin) és koncentrikus körökben

1 Sötét helységben nagy erejű fénnyel átvilágítják a tojást, ezáltal láthatóvá válnak a héj és tojás belsejének hibái, a légrés nagysága, a sárgája elhelyezkedése (Hunton, 1995).

elhelyezkedő fehér és sárga részekből tevődik össze. A tojás legtöbb lipidje és koleszterolja egy lipoprotein komplexet alkot, amely a fehér rétegben központosul. A telített és telítetlen zsírsavak aránya 1:1,8, fontos forrása az olajsavaknak, egyszeresen-, többszörösen telítetlen zsírsavaknak, többszörösen telítetlen linolénsavnak, ami egy esszenciális aminosav. Ezeknek az összetevőknek az aránya a tyúk takarmányozásával módosítható, úgymint az omega-3-zsírsav- vagy E-vitamin tartalom. Színe a világossárgától a sötétpirosig változhat, mivel a tyúk maga nem tudja a színeket okozó pigmenteket szintetizálni, a sárgája változékony színét a takarmányból származó, zsírban oldódó pigmentek okozzák. Emiatt a piaci igényeknek megfelelő szint lehet „előállítani” a megfelelő takarmányozással. A magas béta-karotint, luteint tartalmazó takarmány erős pigmentáltságot okoz. A sárgájában található egy csírafolt, amely megtermékenyítve 200 000 sejtet tartalmaz. A fogyasztásra szánt tojások nincsenek megtermékenyítve (Bell, 2002).

2. Táblázat: Tojás ásványi anyag és vitamin tartalma (forrás: Bell, 2002)

Ásványi anyag (mg)	Fehérjében	Sárgájában	Összesen
Kalcium	3,8	25,2	29
Klorid	66,1	29,9	96
Réz	0,009	0,024	0,03
Jód	0,001	0,025	0,026
Vas	0,003	1,05	1,08
Magnézium	4,15	2,15	6,3
Mangán	0,002	0,019	0,021
Foszfor	8	102	110
Kálium	57	17	74
Nátrium	63	9	72
Szulfur	62	28	90
Cink	0,05	0,66	0,71
A-vitamin (IU)	0	260	260
D-vitamin (IU)	0	27	27
E	0	0,88	0,88
B12	0	0,48	0,48
Biotin	2,62	8,38	11
Kolin	0,5	236,5	237
Folsav	0,006	0,026	0,032
Inozitol	1,54	4,36	5,9
Nikotinsav	0,035	0,01	0,045
Pantoténsav	0,09	0,72	0,81

Piridoxin	0,008	0,057	0,065
Riboflavin	0,11	0,07	0,18
Tiamin	0,004	0,04	0,052

1.3. Csomagolás

Az 1960-as évek előtt a tisztítás, csomagolás, méret szerinti osztályozás a farmon történt, a tojásokat kézzel gyűjtötték be, a szennyezett tojásokat mosószeres vízben lemosták, lámpázás után fogyasztói kartonokba helyezték. A fogyasztói igények, termelés növekedésével a kézi csomagolás túl lassúnak bizonyult, így a termelők a tojásokat egy-egy központi csomagoló helységbe szállították. Eleinte a tojásokat még beszállítás után egy éjszakán keresztül tárolták, aztán csomagolták (off-line rendszer), de ez nem volt sokáig fenntartható. Manapság a legnagyobb csomagológépek már saját tyúkteleppel is rendelkeznek (in-line rendszer) és kapcsolatban vannak a környező gazdákkal (off-line), így azok is oda tudják szállítani a tojásokat. Így megvalósul a folyamatos még hatékonyabb termelés. Egyes cégeknél a törött vagy kifogásolt külsejű tojások feldolgozása is megtörténik helyben. Az elmúlt 50 évben, főképp az 1990-es években a tojásiipar lecsökkentette termelését, ezzel egy időben egyre több helyen alkalmaztak automata számítógépes rendszereket, mivel így gyorsabb és egyszerűbb a feldolgozás csomagolás. Ezek a gépek már képesek voltak szelektálni a sérült, szennyezett tojásokat, lámpázással pedig a külsőleg épnek látszó, de mégsem megfelelő minőségű termékeket válogatták ki (Hunton, 1995).

Az ilyen csomagolóegységekben a tojások hengeres szállítószalagon jutnak el a tényleges csomagolási pontig, így csökken a veszélye az összeütközések által keletkezett mikrorepedéseknek. „In-line” rendszereknél a tojások közvetlenül a tojásmosóba kerülnek, „off-line” termelésnél a tojásokat karton dobozokba gyűjtve viszik a mosóba és ott vákuum-fogó segítségével helyezik a mosószalagra. Mosás és fertőtlenítés után elektromos ventilátorral megszárítják és beolajozzák, ami megvédi a tojás belsejét a kívülről bejutható mikrobák ellen és csökkenti a tömegvesztést (lásd 1.4. fejezet: Tojás tárolása). Ezután a lámpázó részlegbe érve a nem megfelelő tojásokat azonosítják, eltávolítják, és állapotától függően újramossák (ha szennyezett), feltörik vagy megsemmisítik (ha emberi fogyasztásra nem alkalmas). A nem ehető tojásokat - törött héjjal és membránnal rendelkeznek, koszosak vagy bevérzések keletkeztek rajtuk - állati eledelként hasznosítják (Hunton, 1995).

1.3.1. Osztályozás

Egyes tojások tömege kevesebb, mint 40g, de akár több mint 70g is lehet. Néhány piactól eltekintve a legtöbb helyen tömeg alapú osztályokba sorolják őket. A csomagoló gépeken beépített digitális súlymérő található, a súly alapján a gép kiválogatja az egyes csoportoknak (S, M, L, XL) megfelelő tömegű tojásokat, majd csomagolja őket. Más-más piacra más-más méretű tojást érdemes szállítani, attól függően, hogy milyen méretű tojás kedvelt a vásárlók körében. A kereskedelemben a tojásokat 10, 15 vagy 30 db-os kiszerezésben papír tojástartókon lehet megvásárolni, amit egyre inkább felvált a műanyagdobozos megoldás mivel könnyebb újrahasznosításuk.

A csomagolóanyagtól alapvetően elvárt követelmény, hogy tartsa a tojást (méret szerinti kialakítás), megakadályozza a mozgását így csökkentve a törésveszélyt. A csomagolóanyag külső megjelenésénél fontos a gazdasági szempont, mely alapján különböző formájú, dekorációjú és kiszerezésű termékeket állítanak elő. Mostanában egyre gyakrabban lehet látni műanyag dobozos csomagolást, ami nem csak esztétika és környezeti szempontból előnyös, hanem azért is, mert a vásárló könnyebben szemügyre tudja venni a tojásokat a vásárlás előtt. Habár ez a megoldás sem biztosít teljes átláthatóságot, így a vásárló gyakran folyamodik a dobozok kinyitásához. Korábban használt styrohab tároló előnye, hogy szinte bármilyen színben előállítható volt, de ugyanúgy nem biztosított átláthatóságot és megnövelte a csomagolóanyag költségét (Hunton, 1995).

1.4. Tojás tárolása

A tojás tárolása igen fontos kereskedelmi szempontból. A forgalomba hozott tojások ugyan nincsenek megtermékenyítve, de a fizikai és kémiai változások már a kitojás után megkezdődnek, viszont eltérnek a megtermékenyített tojásokban lezajlóaktól. Mint megannyi változás, ez is hőmérsékletfüggő. A fő változás oka a lassú metabolizmus, mely során a tojás egyszerűbb anyagokra: sókra, zsírsavakra bomlik, ammónia képződik. Lebomlanak a foszfolipidek és foszfoproteidek, a sárgájában szabad zsírsavak szabadulnak fel. A CO₂ távozása miatt a pH növekszik, párolgás során vizet veszít. A víz a fehérje és sárgája komponensei között is mozog, aminek következtében csökken a fehérje sértetlensége. Az idő és a hőmérséklet hatással van a baktériumok felületi vagy a tojás belsejében történő elszaporodására.

A tojásokat eleinte 10-13°C-on 70-80% páratartalmú helyen tárolták. Fontos, hogy a tárolási és osztályozási helység azonos hőmérsékletű legyen, mert a hidegebb helyről a melegebb nagyobb páratartalmú helyre történő szállításnál a folyadék rögtön lecsapódik a hideg héjra, ami elősegíti a baktériumok elszaporodását. A '90-es években a szalmonella terjedésének megakadályozására kampányt indítottak a hűtőtárolás elősegítésére, ugyanis 8°C alatt a Salmonella Enteritidis nem képes szaporodni és csökken a hőellenálló képessége, ezáltal főzés során könnyebben elpusztítható el (Hunton, 1995).

Shin és munkatársai (2012) tárolási kísérletük során 2100 tojást gyűjtöttek össze és tároltak 4 hétig -1,1°C és 7,2°C között hat különböző hőmérsékleten. 19 tojás volt hőmérsékletenként, amiket adott tárolási idő után vizsgáltak. Mérték a Haugh egységet (HU²), tojássárga-indexet³, sárgája-, és fehérje pH-t. Vizsgálataik alapján kiderült, hogy a tárolásra a legmegfelelőbb hőmérsékleti tartomány 0,6-2,2°C, azonban gazdasági szempontból nem biztos, hogy a legelőnyösebb (Shin et. al., 2012). A termelési gyakorlatban, valamint a szállítás során 7,2°C vagy annál alacsonyabb belső hőmérsékletet és 75-80% páratartalmat használnak, a magasabb páratartalom penészesedéshez vezethet (Bell, 2002). A kiskereskedelemben 4-5°C-os tárolási hőmérséklet terjedt el.

A tojás eltarthatóságát nem csak a hőmérséklet, vagy a páratartalom változtatásával lehet befolyásolni, hanem a különböző „bevonási” módszerekkel is. Többféle kísérlet is zajlott ennek megerősítésére. Citozin, tejsavó, fehérje koncentrátum, ásványi olaj, szójaolaj bevonat hatását vizsgálták 4°C és 25°C-on 5 és 20 hétig tárolt tojásokon Wardy és társai (2010). Tárolás ideje és a bevonat típusa jelentős hatással bírt a HU értékre, tojássárga-indexre, tömegveszteségre, fehérje pH-ra, emulzióképző képességre. Megállapították, hogy az olajbevonatok igen hatékonyan védik a tojásokat, a szójabevonat pedig rendkívül megnöveli a minőségmegőrzési időt mindkét hőmérsékleten (Wardy et. al., 2010).

Kim és társai (2009) kísérlete a citozin bevonatra és a tárolási pozícióra vonatkozott. A tojásokat 25°C-on 5 hétig tárolták különböző helyzetben: hegyes vége lefelé, tompa vége lefelé, oldalt fektetve. A bevonatmentes tojásokkal összehasonlítva a citozin bevonatos tojások pozíciótól függetlenül magasabb HU értékkel, tojássárga-indexszel rendelkeztek és kisebb volt a tömegveszteségük. A minőségmegőrzési idejük legalább 3 héttel növekedett ezen a hőmérsékleten. A hegyes végével lefelé pozícionált tojások a tárolás 3. és 4. hetében jobb minőségi tulajdonságokat mutattak, mint a tompa végével lefelé állított párjaik, viszont az 5. hét után már nem volt szignifikáns hatása a tárolási helyzetnek a tojás minőségére (Kim et. al., 2009).

Látható, hogy a tojás bevonása mindenképp előnyösen hatott az eltarthatósági időre. További megoldás lehet a tojások levegő átáramlását gátló konténerben történő tárolása. A tárolókban CO₂

2 Haugh egység: Ezt a módszert a tojásfehérje (így a tojás) minőségének jellemzésére használják. Miután lemérték a tojás tömegét sima felületre ütik, úgy hogy ne sérüljön a belső része. Mikrométerrel a sárgája közvetlen közelében lemérik a fehérje vastagságát, majd a tömeggel korrigálják. Minél nagyobb érték jön ki annál frissebb a tojás.

$$HU = 100 \cdot \log[h - g^{0,5}(30 \cdot m^{0,37} - 100) / 100 + 1.9]$$

m= tojás tömege (g)

h= tojás magassága (mm)

g= állandó (32,2)

Ez a módszer nem tudja meghatározni a tojás ásványianyag- és vitamintartalmát. (Bell, 2002)

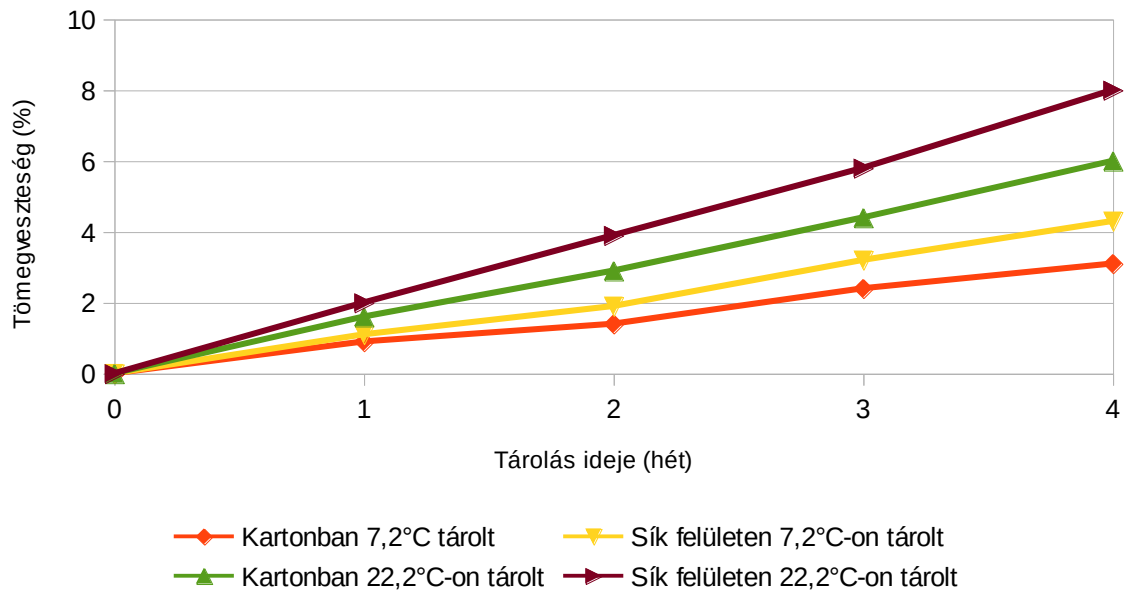
3 Tojássárga-index=sárgája magassága (mm)/sárgája szélessége (mm) (Keener et. al., 2008)

segítségével növelhető a minőségmegőrzési idő, viszont ez a módszer elég költséges ráadásul a hosszú tárolási idő marketing szempontból nem biztos, hogy előnyös (csökkenő ár, alacsonyabb minőség) (Hunton, 1995).

1.4.1. A tárolás során bekövetkező változások

A tojás rendkívül romlékony áru, mivel élő sejtnek számít. A hőmérséklet növekedése különböző folyamatok megindulásához vezethet. Meleg hatására az enzimtevékenységek fokozódhatnak, így megindul fehérje, és sárgája lebontása. A tojás folyadékot veszít a pórusokon keresztül, ha semmilyen természetes védőburok vagy bevonó anyag nem akadályozza meg. Meleg száraz helyen ez a vízvesztés fokozódik, törött tojás esetén a folyadékvesztés háromszorosa az ép tojásénak. A magas páratartalom, alacsony hőmérséklet, esetleges bevonat csökkenti a folyadék-, így a tömegvesztést is. Maga a tojás kiváló táptalaj a baktériumok, mikroorganizmusok számára, ami komoly minőségkárosodást okoznak. A megrepedt, fekáliásan szennyezett, véres tojásokat tilos forgalomba hozni (23/2002 (IV.5.) FVM rendelet). A tömeg csökkenése nem romlás, hanem minőségbeli változás. Tartósítással megvédhetjük a tojást, valamint csökkenthető a téli és nyári árkülönbségek. Tartósítás alatt a meszes közegben vagy fagyasztva történő tárolást értjük.

A tyúkból kijutó tojás steril, az esetleges szennyeződések ezután kerülhetnek a tojásra, aminek megakadályozására a héj és a kutikula hivatott. A héj alatti hárttyák ugyancsak a tojás védelmére szolgálnak, azonban a baktériumok proteáz⁴ tevékenysége megbonthatja ezt a védőréteget (Hűtő- és Állattermék Technológia Tanszék, 2012). Ezen kívül a csomagolóanyag is nagyban hozzájárul a védelemhez (3.ábra).



3. ábra: Tárolás módjának hatása a tömegvesztésre (forrás: Bell, 2002)

1.4.1.1. Mikrobiológiai változások

Penészek és gombák által okozott romlások érzékszervileg is észlelhetők (bűz, penészesedés). A penészek a tojás felszínén megtelepednek, a belsejébe bejutva a fehérjében csomós elváltozást okoznak. A penészesedés a nem megfelelő hőmérsékleten és nedves helyen történő tárolás esetén gyakori. Leggyakoribb fajtái: *Penicillium*, *Mucor*, *Cladosporium*, *Aspergillus*. Egy-egy bakteriális fertőzés pedig a „tojásfehérje elfolyósodását” is okozhatja, ami nagyon alacsony HU értéket jelent. A sárgája mozgékonyabb lesz, színe elváltozik, keveredhet a fehérjével. Legismertebbek a vörös-, fekete-, zöld-, kevert rothadás, szénatojás. A lámpázás nem mutatja ki a zöld rothadást, amit a *Proteus* és *Pseudomonas* nemzetség tagjai okozhatnak (Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék, 2012).

1.4.1.2. Fehérjében bekövetkező változások

Számos kísérletet végeztek a tojások tárolás során bekövetkező változásainak vizsgálatára. A Szaúdi Egyetem munkatársai (Alsobayel, 2011) riadhi piacról véletlenszerűen gyűjtött, fehér és barna tojásokat vizsgáltak. 360 minta tömegét 0.01g pontossággal lemérték, majd 0, 10, 20 napig 7°C-on 60% relatív páratartalmú helyiségben tárolták és különböző fizikai paramétereket vizsgáltak. Eredmények alapján elmondható, hogy tárolási idő ellentétes hatással bírt a HU értékre, tehát a tárolási idő előrehaladtával a fehérje elkezd hígulni. A genotípusnak jelentős hatása van a

bevérvések⁵ a megjelenésére, tojás alakjára, tojás felületének nagyságára, viszont tapasztalatuk szerint nincs hatással a HU értékre, és a húsfoltosságra⁶ (Alsobayel et. al., 2011). Hasonlókat tapasztaltak más kutatók is, Scott 2000-es és 2001-es kutatásai alapján lejegyezte, hogy a tárolás során a fehérje tömege csökkent, a sárgája tömege nőtt habár nem jelentősen. A fehérjeréteg vastagsága a tyúk életkorának növekedésével csökkent, ugyanez volt tapasztalható a tárolási idő növekedésével. A fehérje pH-jának változására a tojótyúk életkora nem volt hatással, viszont minél hosszabb ideig tárolták annál jobban csökkent (Scott és Silversides, 2000; Silversides és Scott, 2001). Iraki kutatók (Hermiz és társai, 2012) szerint a tárolási idő és a genotípus is hat a fehérjeszázalékra⁷ és a sárgájának tömegbéli változására. Viszont Scott és Silversides (2000 és 2001) mindkét mérésnél azt tapasztalta, hogy a tárolási idő növekedése csökkenti a fehérjeszázalékot és növeli a sárgájaszázalékot⁸, és ugyanúgy, mint Keener (2006), semmilyen összefüggést nem találtak a származás és a tojásfehérje fizikai jellemzői között (Hermiz et. al., 2012; Keener et. al., 2006; Scott és Silversides, 2000; Silversides és Scott, 2001)

A sűrű-fehérje tartalom csökkenése a mucinok vízmegkötő képességével van összefüggésben. A mucinok nem képesek megkötni a vizet így az felhígul, a széndioxid távozásával a fehérje pH értéke 7,6-ról 9,5-re emelkedik. Fehérjék esetében a tárolás során csökkent a HU érték, ami igen fontos minőségjelző.

1.4.1.3. Sárgájában bekövetkező változások

A Szaúdi egyetemen 2010-ben (Alsobayel, 2011) végzett kísérletek során a kutatók nem találtak összefüggést a tárolás és a genotípus tojássárga-indexre gyakorolt hatásáról, viszont korábbi kutatások már összefüggést mutattak a tárolási idő és a sárgája-index növekedése között.(Alsobayel et. al., 2011; Scott és Silversides 2000; Silversides és Scott, 2001)

Keener és társai (2006) végeztek vizsgálatokat, mely során 5, 13, 23°C-on tárolták a tojásokat. Az első mérést 0. időpontban a másodikat 7 héttel utána végeztek. Azt tapasztalták, hogy a sárgája magassága kb. 10%-kal csökkent a hőmérsékletet 5°C-ról 23°C-ra történő változása esetén, míg a tárolási idő növekedésével a magasság csak kicsit csökkent. A sárgája szélességében minimális eltérést figyelt meg hőmérsékletenként a tárolási idő befejeztével. A fehérjében megfigyelt változások, hasonlóan más kutatókéhoz, sokkal jelentősebbek voltak, mint a sárgájában

⁵ A peteleválás után előfordulhat, hogy a tüsző felrepedése során a tüszőhámból vér kerül a szikre, a tojássárgájára, ekkor beszélünk bevérvésről (Kozák, 2007).

⁶ Húsfoltosság az, ha a tüszőhámról vagy a petevezetékről szövetdarab záródik a tojásba (Kozák, 2007).

⁷ fehérje%=(fehérje tömege (g)/ tojás tömege (g))*100 (Hermiz, 2012).

⁸ sárgája%=(sárgája tömege (g)/ tojás tömege (g))*100 (Hermiz, 2012).

bekövetkezettek. Keener összefüggést vélt a származás és a tojássárga-index, valamint a magasság között (Keener et. al., 2006).

1.5. Minőség meghatározása

23/2002-es FVM rendelet alapján „fogyasztásra alkalmatlan a tojás, ha törött, idegen testet tartalmaz, penészfoltos, összefolyt sárgájú, vérgyűrűs, rothadt, élősködőkkel szennyezett, bármely okból undort keltő, tiltott módon hozták forgalomba; továbbá a terméketlen tyúktojás, ha azt a keltetésből a hetedik napot követően vonták ki; a tyúktojás kivételével más baromfifajok keltetett terméketlen tojása, függetlenül a keltetésből való kivonás napjától” (www.fvm.hu).

Az ember által végzett vizuális vizsgálat a legfőbb minőség ellenőrző folyamat a tojás vizsgálat esetén. Viszont a nagy sebességű elektronikus osztályozó gép fejlődésével az emberi művelet szűk-keresztmetszetté kezd válni. Emellett mivel emberigényes munkafolyamat, tovább növeli a költségeket. Az utóbbi időben egyre több kísérlet irányult a tojások minőségének alternatív módon történő meghatározására, amivel lámpázás hatékonyabb módszerre történő lecserélését szeretnék elősegíteni. Próbálkoztak dielektromos paraméterek mérésével (Ragin et. al., 2007) elektronikus orral (Youngwei et.al., 2009), fluoreszcens spektroszkópiával (Karoui et. al., 2007). Ezekkel a módszerekkel ugyan megállapítható a tojás frissessége, de nem elég hatékonyak és bonyolult statisztikai elemzések szükségesek a kiértékelésnél. Ezeknél talán jobbnak bizonyult az a látórendszer, amit a mikrotörések észlelésére fejlesztettek ki Li és társai (2012). Mintaként ép, szennyezett és tiszta tojásokat használtak. A kísérlet során 18kPa vákuum segítségével mikropedéseket hoztak létre a tojáshéjon. Sikertült egy olyan algoritmust kifejleszteniük, ami képes megkülönböztetni a repedést a szennyeződéstől 100% pontossággal, így a rendszer további fejlesztésével akár beépíthető a válogatási folyamatba (Li et. al., 2012).

Az alternatív módszerek közül az akusztikus mérések bizonyultak a legbiztosabbaknak, azonban módszertől függően igen eltérő eredményeket is kaphatunk. A folyamat során a tojáshéjra mért könnyű mechanikai ütés által gerjesztett, mérhető frekvencia válasz analízise történik. Eddig ismert legjobb, nem destruktív módszernek bizonyult, viszont a kidolgozás során a statisztikai elemzések, zajszűrés, robusztusság hiánya hátrányt jelent (Ketelaere et. al., 2004; Lin et. al., 2011).

A robusztusság biztosítása érdekében fontos a környező zajok kiszűrése. Ketelaere társaival végzett kutatásokat (2004) erre vonatkozóan. A tojásokat forgatható hengerekre helyezték. A tojásra mechanikai impulzusokat mértek a hangokat mikrofonnal fogták fel. A zajszűrés érdekében egy második mikrofont helyeztek az előző közelébe. A mintavételi frekvencia 44,1 kHz volt, az adatokat számítógépen gyűjtötték és Matlab program segítségével dolgozták fel. Két alapelv szerint

dolgoztak: független komponens analízis (ICA) és adaptív szűrés. A rendszer egyik hátránya, hogy az ICA statisztika alapokon nyugszik és a bonyolult algoritmus miatt nem igazán alkalmazható. Az adaptív zajszűrő ugyan jobbnak bizonyult, és az algoritmus rekurzív formulája miatt könnyebben alkalmazható on-line rendszerekben, de maga az összeállítás elég bonyolult, nagyobb meghibásodással járhat (Ketelaere et. al., 2004).

Ketelaere és társai (2000) által végzett másik tanulmány a tojáshéj állapotát határozta meg mechanikai és optikai módszerekkel. A mechanikai módszer során a tojás az oldala mentén körbe mért ütések „válaszát” vizsgálták. A megütés során az ütési energia nagy része elnyelődik és csak egy kis része alakul át vibrációs energiává. Friss tojást használtak a tanulmánynál, gép segítségével végeztek egy előválogatást, ami alapján kiderült hány törött tojást talált a gyári műszer. A tojásokat, amelyeknek eltérő formájú héja volt, vagy nem volt légkamra benne kiválogatták. Szintén forgatható hengereket használtak a tojások megtartására. Ezeknek a hengereknek kisebb volt a keménysége, mint a tojáshéjé, így minimálisan befolyásolja a tojás dinamikus viselkedését. A megütés nehézsége miatt a hangfelfogó eszközt 5-8mm-rel helyezték a tojás felé, így egy helyen található a gerjesztés helyével. A gerjesztést egy 7mm átmérőjű műanyag felfüggesztett golyóval végezték. Négy ütést végeztek a tojás kerülete mentén egyenlő távolságra. A kapott adatokat Fourier transzformált segítségével átalakították, információ tartalmat 800-8960Hz között találtak a spektrum 800-7000Hz között volt a legerősebb. Megállapították, hogy a törés elhelyezkedése és komolysága igen befolyásolja a detektálási valószínűséget, ezért fontos hogy csak természetes módon megrepedt tojásokat használjanak a kísérletek során.

Az ép tojás 3000 és 6000Hz között rezonált, a különbségek a tojás tömegéből és a héj keménységi jellemzőiből adódtak. Az első, domináns csúcs módosult az ütés erősségétől függően. Igen hasonló eredmény található más kutatók (Eissa, 2008) vizsgálatánál, tojás gerjesztése után 3000-8000Hz között egy egyszeri csúcs jelent meg a jel kb. 20ms-ig tart. A törött tojás relatív széles intervallumban 2000-10000 Hz között mutatott spektrumot, a jel rövidebb ideig 15ms jelentkezett (Eissa, 2008).

A nedves tojásoknak kisebb volt a jel-hang aránya. A törött tojásokra heterogén spektrum jellemezte, az amplitúdó kisebb, mint az ép tojásokénál. A spektrum mintái függnek a gerjesztési ponttól és a törés elhelyezkedésétől. Azok a törések, amiket nem tudtak detektálni (Ketelaere, 2000) 50%-ban a keresztirányú kerület mentén, 40%-ban a hegyes részen 10%-ban a tompa részen jelentek meg. A rosszul kiválogatott tojások aránya 0,19-1,6%. Néhány repedést a tojásfehérje megragasztott, emiatt a tojások mechanikai keménysége nagyobb lett. A nagyon kicsi hajszálrepedések a hegyes és tompa végen nagyon nehéz észlelni, ennek magyarázatául szolgálhat az, hogy a megütés során a tojás csúcsain kisebb a „mozgás”, mint kerületén (kevésbé merev és viszonylag nagy mozgást mutat). A kísérlet alapján megállapítható a nyílt törés, csillag alakú törés,

és a normál hajszálrepedés 90%-ban detektálható. Ez az eredmény a létező legjobb törés-detektáló berendezésének megfelelő. Néhány kisebb, a végeken vagy kerület mentén található hajszálrepedést nem észleltek, valószínűsíthető annak, hogy kevésbé voltak hatással ezek a repedések a héj keménységére. A kevés ütésszám (4/tojás) egyszerű telepítés lehetővé teszi a költséghatékony és gyors tojáshéj-hiba detektor megalkotását (Ketelaere et. al., 2000).

Wang és társai (2004) által végzett kísérlet során tojásokat inga segítségével ütötték meg, vizsgálták a gerjesztés helyének, detektálás helyének, ütés intenzitásának és anyagának, tömegének, sűrűségének, héj vastagságának, törött héj jelenlétének hatását a domináns frekvenciára. A tanulmány során a friss tojásokat a végeken és a keresztirányú kerület mentén gerjesztették, a válaszjeleket piezoelektromos filmmel⁹ (PE) érzékelték, majd átalakították. Néhány tojáson előzőleg mikrorepedéseket hoztak létre, amit mikrométerrel mértek le. Három helyre tettek PE-t, egyet a kerület mentén, egy-egy a tompa és hegyes végekhez. A mérés előtt a tojások tömegét, sűrűségét vizsgálták, mérés után a héjkeménységet nézték a törésmutató alapján.

Jelfelfogóhoz képest ellentétes helyen gerjesztették a tojást. A kerületen történő megütéshez képest a hegyes végen megütött tojások domináns frekvenciája nagyobb volt, viszont a terjedelmüket kisebbnek mérték. A megütés intenzitását az inga ejtési szögének változtatásával módosították. Ez alapján a jel terjedelme változott a frekvencia nem: nagyobb sebességhez nagyobb frekvencia terjedelem párosult. A gerjesztő anyag (műanyag, fa, fém golyó) nem volt hatással a domináns frekvenciára, a terjedelemben okozott némi változást. Fizikai jellemzők közül a nagyobb tömeg kisebb terjedelmet és alacsonyabb frekvencia értéket okozott, a nagyobb sűrűség, ami idővel csökkent, nagyobb frekvenciát és terjedelmet adott. A héjkeménység növekedésével a frekvencia és a terjedelem is nőtt. A törés erősen befolyásolja a frekvenciát, míg ép tojásnál 3 vagy több domináns csúcsot találtak, aminél az első terjedelme volt a nagyobb ezért azt nevezték dominánsnak, addig a törött tojásnál a három csúcs terjedelme megközelítőleg egyforma, így nehéz elkülöníteni őket. A statisztikai elemzés alapján a frekvencia függ a töréstől (szignifikáns hatás), héj keménységtől, tömegtől, sűrűségtől és nem függ a gerjesztési módoktól (Wang et. al., 2004).

Dolgozatomban én is az akusztikus módszert használtam a tojás minőségének becslésére. Már a korábbi kísérletekből kiderült a tojás minőségbecslése nem egyszerű feladat, ugyanakkor már van egy igen megbízható, jól bevált módszer. Az általam kidolgozott módszer használatánál figyelembe vettem a korábbi kutatási anyagokat, ezek alapján igyekeztem egy olyan rendszert kialakítani, ami egyszerű, nagy robusztussággal bír így könnyen beépíthető ipari folyamatokba.

9 A piezoelektromos réteg a nyomó-húzó feszültséggel arányos feszültséget indukál, ezért ideális dinamikus deformáció érzékelőként működik (www.microsensor.hu)

2. Célkitűzés

Célom volt az akusztikus módszer továbbfejlesztése és adaptálása tojások minőségvizsgálatára

- Első lépésként a mérőmódszer összeállítása:
 - Megütés eszközének,
 - Az alátámasztás anyagának
 - Megütés és detektálás helyének,
 - Tojáspozíciójának kiválasztása.
- A megfelelő összeállítás után további célom volt tárolási kísérlettel igazolni a módszer hatékonyságát, illetve bizonyítani, hogy az akusztikus vizsgálat képes különbséget tenni az eltérő épségű tojások között az által, hogy képes:
 - A héj repedésének detektálására
 - Tárolás során bekövetkező változások figyelemmel kísérésére.
- Fontosnak tartottam továbbá, hogy a mérés során tapasztalt eltéréseket lámpázással ellenőrizzem, valamint a tárolási idő végén a tojások minőségét feltörés után is vizsgáljam.

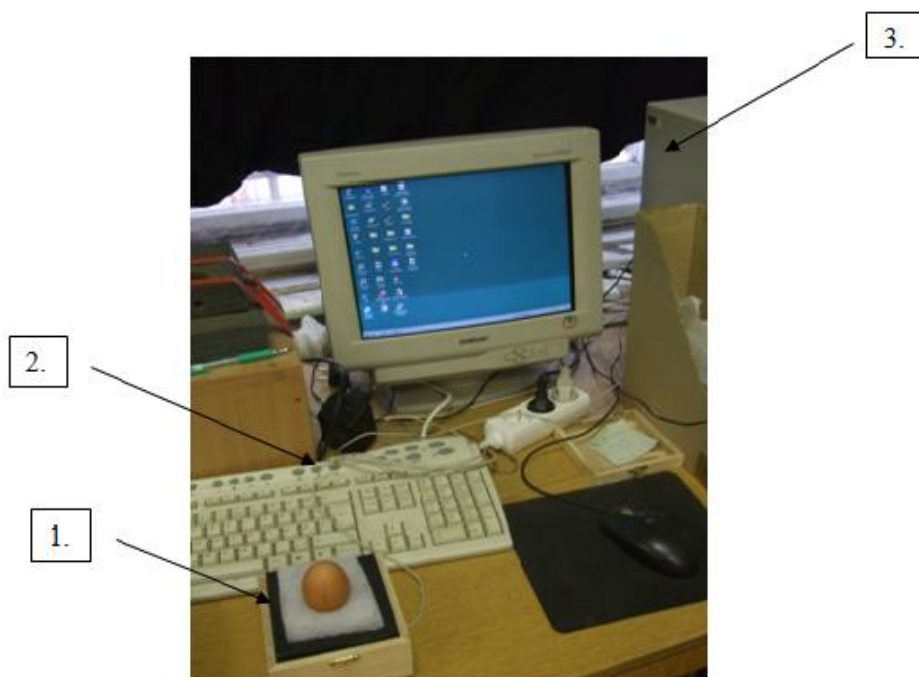
3. Anyagok és módszerek

3.1. Akusztikus mérőberendezés

A korábbi kísérletekből kiindulva célom egy olyan módszer kidolgozása volt, ami roncsolásmentesen, magas reprodukálhatósági szint mellett pontos képet tud adni a tojások fizikai állapotáról. Fontos szempont volt továbbá a megfelelő detektálhatóság megvalósítása. Az akusztikus módszerek a korábbi kísérletek során sok pozitív eredménnyel kecsegtettek. Budapesti Corvinus Egyetem Fizika-Automatika Tanszéken már kifejlesztettek egy akusztikus jelek felvételére és feldolgozására alkalmas eszközt, így nem volt kétséges, hogy a kísérleteim alapjául ezt a vizsgálati módszert fogom alkalmazni, hiszen rengeteg lehetőség nyílik a módszer tökéletesítésére és ipari folyamatokba történő beillesztésére.

Mivel a jelek felvételére alkalmas eszköz már rendelkezésre állt, így a módszer kidolgozásánál a megfelelő mérési elrendezést és módszert kellett kikísérleteznem.

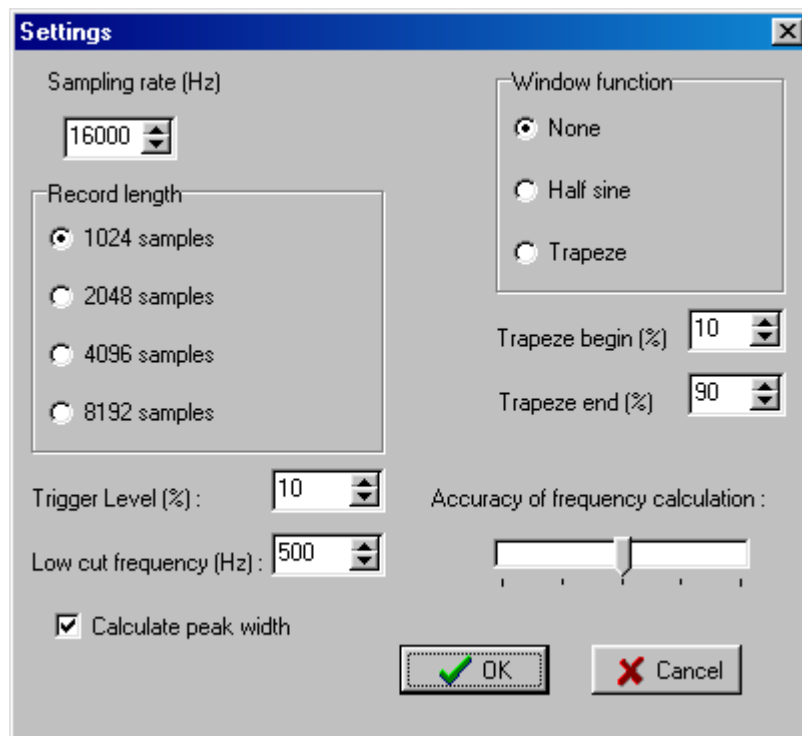
Akusztikus mérőberendezést a 4. ábra illusztrálja:



4. ábra: Akusztikus mérőberendezés

Maga a mérőberendezés rendkívül egyszerű felépítésű: egy jelfelfogó mikrofonból (1), adattovábbító kábelből (2), valamint egy hangkártyát tartalmazó adatfeldolgozó számítógépből áll (3). A fadoboz belsejében található mikrofon továbbítja a beérkező jeleket a számítógépbe, ami szintén a BCE-ÉTK Fizika-Automatika Tanszéken fejlesztett program segítségével kerül feldolgozásra.

Maga a program kezelése rendkívül egyszerű. A beállítások menüpont alatt megadhatjuk többek között a mintavétel tartományát, gyakoriságát vagy a legalacsonyabb figyelmen kívül hagyandó frekvencia értéket. Ezek után gombnyomásra tárolható a kapott legmagasabb frekvencia és az ehhez tartozó terjedési idő. Az adatok.txt formátumban kimenthetők. Az 5. ábrán a beállítható paraméterek képernyőmásolata látható.



5. ábra: Program által kínált beállítási lehetőségek

A módszer kidolgozásához különböző alátámasztásokkal (eltérő anyagú szivacsok, szigetelők, parafa, akusztikus csillapító vatta), tojáspozícióval (alul, felül, oldalt), ütési pozícióval (felülről, oldalról) valamint ütőeszközzel (fém pálca, fa pálca, üvegbot) kísérleteztem, melyek eredményét a későbbiek folyamán (4.1. és 4.2. fejezetben) részletezek.

3.1.1. Módszer kidolgozásánál alkalmazott eszközök és beállítások

A módszer kidolgozásánál a következő szempontokat vettem figyelembe:

1. megfelelő gerjesztő eszköz kiválasztása, mely képes rezgésbe hozni a tojásokat,
2. az alátámasztás, mely kiszűri a környező zajokat ugyanakkor nem akadályozza a tojást saját rezgésében,
3. gerjesztés és jelfelfogás helye,
4. tojáspozíció.

A megfelelő alátámasztás kiválasztásához szükséges még repedés detektálásának vizsgálata, a különböző pozíciókban kapott jelek ismételhetőségének mérése. Azt az alátámasztást választottam

ki, amely minden korábbi kritériumnak teljesen megfelelt.

3.1.1.1. Gerjesztő eszköz kiválasztása

Gerjesztéshez, üreges fém pálcát, fa pálcát, valamint üveg keverőbotot használtam.

3.1.1.2. Alátámasztás kiválasztása

A megfelelő jelfelfogás érdekében olyan alátámasztás szükséges, ami nem tompítja vagy másítja meg a gerjesztés során keletkező rezgéseket, ugyanakkor kiszűri a külső zajokat. Az alátámasztások anyaga: extrudált polisztirol; akusztó szivacs; parafa; hungarocell; csomagoló szivacs, vastag habszivacs; üveggyapot; akusztikus csillapító vatta.

Ezt a korábbi négy szempontot (különböző alátámasztás, különböző gerjesztéshez használt eszköz, más-más tojás pozíció, és különböző gerjesztési és detektálási pont) és ezek kombinációi rengeteg mérési sorozat elvégzését, regisztrálását, értékelését jelenti. A mérések elkezdése után viszont már ki lehetett szűrni azokat a mérési paramétereket, amelyek teljesen alkalmatlanok a kísérlet folytatására.

3.1.1.3. Ismételhetőség, reprodukálhatóság, repedésdetektálás

A mérések ismételhetőségét az ütések – tojásonként legalább nyolcszori - megismétlésével ellenőriztem. A vizsgálat 2-3 különböző tojás ugyanazon pontján vagy a tojás hossza mentén egy vonalban történt. Repedésdetektálásnál különböző alátámasztásokat, ütési helyeket, eszközöket figyeltem. Az az alátámasztás és ütő eszköz bizonyult megfelelőnek, amelynél az ép és reped tojás által adott jel egyértelműen elkülöníthető volt.

3.1.1.4. Tojás pozíciója és a megütés helyének kiválasztása

A tojásokat különböző pozíciókba helyeztem el és különböző helyeken gerjesztettem, azt az elrendezést keresve, melynél a kapott rezonancia frekvencia egyértelműen detektálható volt. A tojások elhelyezése és gerjesztési helyei a következők voltak:

1. tojás az oldalán fekszik, gerjesztési pontok a hegyes végen, tompa végen, a tojás kerülete mentén négyszer, 90° elforgatás mellett, a mikrofon mindig az átellenes ponton volt elhelyezve,
2. tojás az oldalán fekszik, hegyes végétől a tompáig, egy vonalban a hosszanti tengelyek mentén 4 gerjesztési pont,
3. tojás a tompa végén áll, gerjesztés a hegyes végen, többszöri ismétlés,
4. tojás a hegyes végen áll, gerjesztés a tompa végen, többszöri ismétlés.

3.1.1.5. Lámpázás

A mérések megkezdése előtt lámpázással ellenőriztem a tojások minőségét. Volt olyan tojás, amelyen már a mérés megkezdése előtt csillag alakú repedés volt jelen (6. ábra), ami természetes úton keletkezett, így pontosabb eredményeket kaptam törésdetektálásnál, mint mesterséges törés esetén.



6. ábra: Lámpázással detektált repedés

3.2. Tömegmérés

A tojások tárolás során vizet veszítenek, ami tömegveszteséggel is jár. Ennek nyomonkövetésére minden vizsgálat alkalmával tömegmérését végeztem, ehhez Ohaus digitális mérleget (7. ábra) használtam, mely 1500g-ig, 0,5g pontossággal mér.



7. ábra: Digitális mérleg

3.3. Tárolási kísérlet

A megfelelő mérő módszer és beállítás kiválasztása után kezdtem el a tárolási kísérletet. 90 tojást – amelyek 2 naponan kerültek az egyetemre – tároltam (8. ábra): 30db-ot szobahőmérsékleten,

25±2°C-on, 60db-ot hűtőben, 5±2°C-on.



8. ábra: Tárolási kísérlet során vizsgált tojások

Kísérlet megkezdése előtt beszámoltam a tojásokat és utána elvégeztem az első méréseket. A szobahőmérsékleten tároltaknál a vizsgálatot naponta, hétvége esetén két nap kihagyással végeztem, a hűtőben tárolt tojásokban a változás nem volt olyan gyors, hogy érdemes lett volna naponta vizsgálni őket, így hetente egyszer mértem a változásokat. A mérést addig végeztem, amíg az észlelt jelben nem tapasztaltam jelentős változást. A tojásokat kartontálcán tartottam, tárolás során a hőmérsékletet regisztráltam, hogy visszaellenőrizhessem biztosított volt-e az állandó hőmérséklet. A vizsgálatoknál minden tojást a hegyes végükön ütöttem meg, a tompa végén volt elhelyezve a detektor. A szobahőmérsékleten tárolt tojásokat 35 nap után, a hűtőben tároltakat 82 nap után ütöttem fel.

A folyamatos adatgyűjtés után az eredményeket Excel és SPSS statisztikai (18.0 verziójú) program segítségével dolgoztam fel. Kiértékelésnél a kapott adatokat az első nap kiindulási értékeihez viszonyítottam százalékos értékben, tehát a kapott frekvenciákat és tömegeket folyamatosan elosztottam az első mérés eredményével és szoroztam 100-zal. Az ábrákon a tömeg és a frekvencia százalékos értékeit ábrázoltam 95%-os konfidencia intervallum mellett (CI). Ezután ábrázolva az eredményeket kirajzolódtak a tárolás alatti változások.

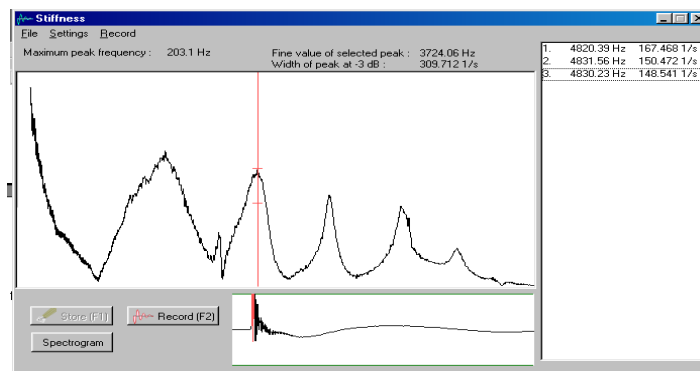
3.3.1. Tojások feltörése

A szobahőmérsékleten tároltakat a 35. napon, a hűtött tojásokat a 82. napon törtem fel. Feltörésnél fényképes dokumentációt készítettem a tojás belsejéről és tolómérővel megmértem légkamra átmérőjét és magasságát.

4. Eredmények és értékelésük

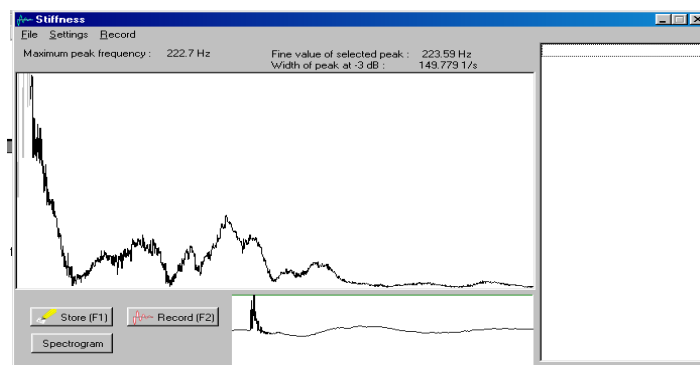
4.1. Gerjesztő eszköz kiválasztása

Gerjesztési próbánál elsőként az üvegbotot használtam, amivel a tojás bármely pontját gerjesztve, bármely alátámasztást alkalmazva nem lehetett egyértelmű a tojásra jellemző, egyetlen domináns frekvenciacsúcsot felfogni, amit a következő, 9. ábra is megerősít. Emiatt az üvegbotot kizártam a lehetséges gerjesztő eszközökből.

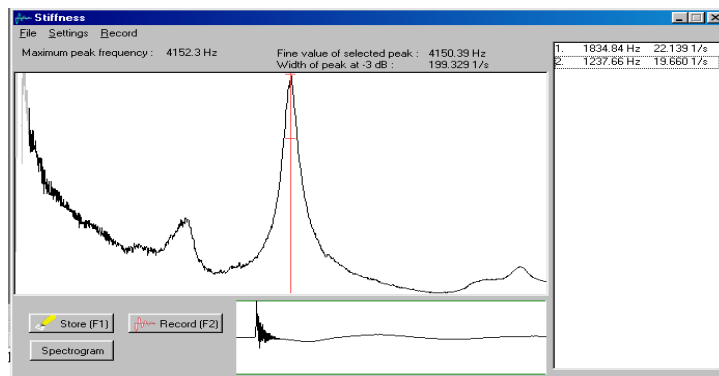


9. ábra: A tojás rezonancia spektruma. Gerjesztő eszköz: üvegrúd, alátámasztás: akusztikus csillapító vatta, pozíció: hegyes vég felfelé

A fapálcával (10. ábra) és fém pálcával (11. ábra) történő gerjesztés után kapott spektrumokat tekintve egyértelműen a fém pálcák bizonyult megbízhatóbbnak.



10. ábra: A tojás rezonancia spektruma. Gerjesztő eszköz: fapálca, alátámasztás: akusztikus csillapító vatta, pozíció: hegyes vég felfelé



11. ábra: A tojás rezonancia spektruma. Gerjesztő eszköz: fém pálcá, alátámasztás: akusztikus csillapító vatta, pozíció: hegyes vég felfelé

A fenti ábrákból látszik, hogy ha a tojást fém pálcával gerjesztem a kapott spektrumban egy jól detektálható, a többtől könnyen elkülöníthető csúcsot kapunk, ami a domináns frekvenciát jelöli. Ezek alapján a fém pálcát, mint megfelelő ütőeszközt választottam a további mérésekhez. Az egyértelmű jelfelfogás érdekében beállítottam, hogy 500Hz-nél alacsonyabb értékeket vágja le a program.

4.2. Az alátámasztás kiválasztása

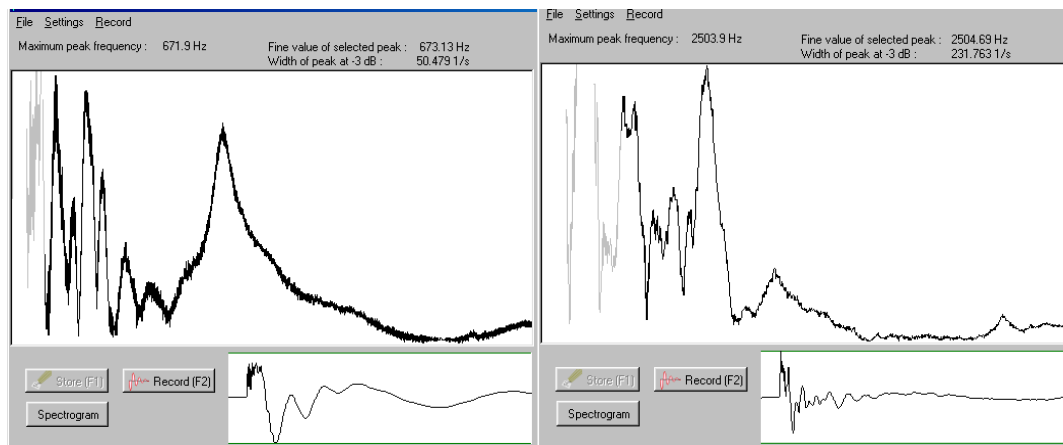
Az alátámasztások kiválasztásánál 30 db tojáson végeztem méréseket. 12. ábrán látható alátámasztások közül először azokat zártam ki, amelyeknél a gerjesztés után kapott frekvenciakép nem volt az elvárt tisztaságú, azaz a domináns csúcs nem különült el jelentősen a többi rezonancia csúcstól.



12. ábra: Kísérlet során használt különböző alátámasztások (üveggyapot, vastag habszivacs, parafa, csomagoló szivacs, akusztikus szivacs, extrudált polisztirol, hungarocell, akusztikus csillapító vatta)

4.2.1. Alátámasztás kiválasztása frekvenciakép alapján

A felvett spektrumképek alapján az üveggyapot, és a hungarocell által továbbított jel bizonyult a legnehezebben detektálhatónak. A jellemző spektrumképek a 13. ábra illusztrálja. Mindkét alátámasztás esetében több. Közel egyforma nagyságú rezonanciacsúcs is megjelenik, így a program adott esetben nehezen tudja megkülönböztetni az általam keresett domináns csúcsot.

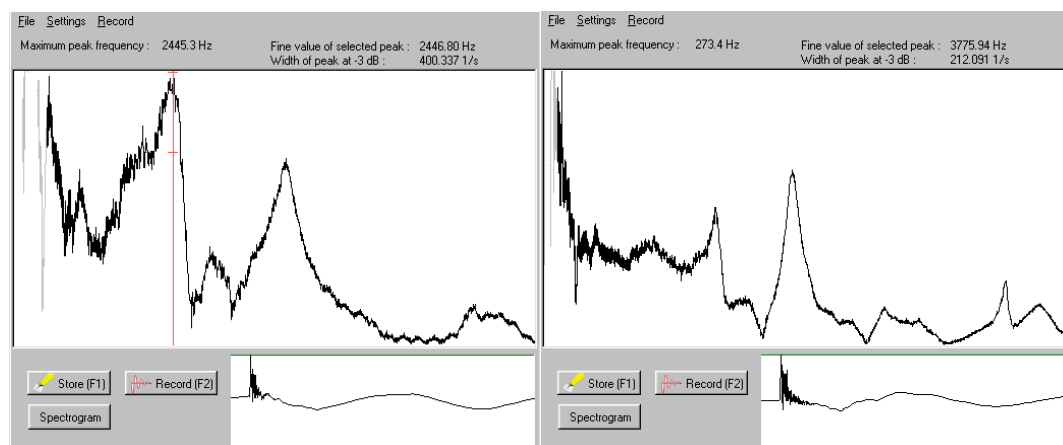


13. ábra: üveggyapot és hungarocell által továbbított frekvenciakép

Ezért a további méréseknél ezt a két alátámasztást tovább nem vizsgáltam. A megmaradt alátámasztások számát repedésvizsgálat alapján csökkentettem.

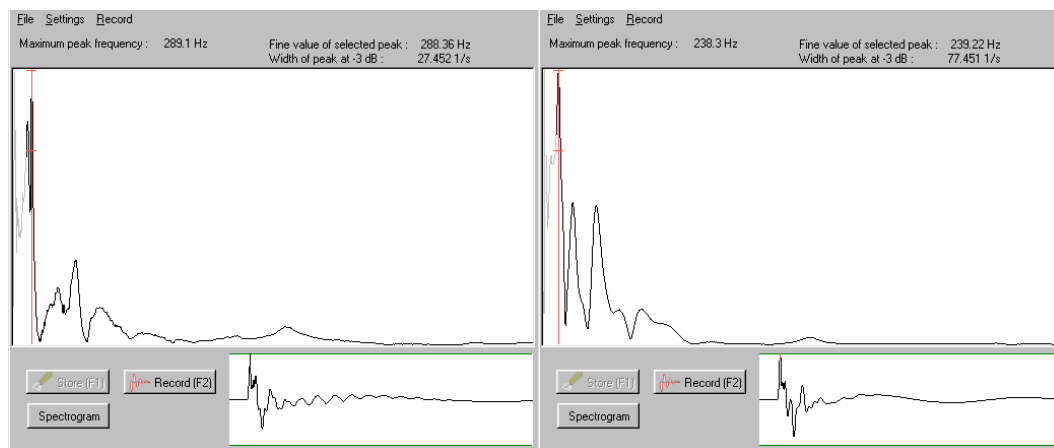
4.2.2. Az alátámasztás kiválasztása repedés detektálása alapján

A maradék 6 alátámasztás esetében repéscsúcsdetektálási vizsgálatot végeztem. A megfelelő alátámasztástól azt vártam, hogy segít elkülöníteni a repedt és ép tojások domináns frekvenciajelét. Korábbi kísérletekből kiderült (Wang et. al., 2003), hogy a repedt tojás nem rendelkezik domináns frekvenciával, így én is hasonló megfigyelésre számítottam. A tojásokat a hegyes végükön ütöttem meg, minden esetben fém rudat használtam. A következő ábrák baloldalán egy repedt, jobboldalán egy ép tojás rezonanciafrekvencia képe látható különböző alátámasztásokat használva.



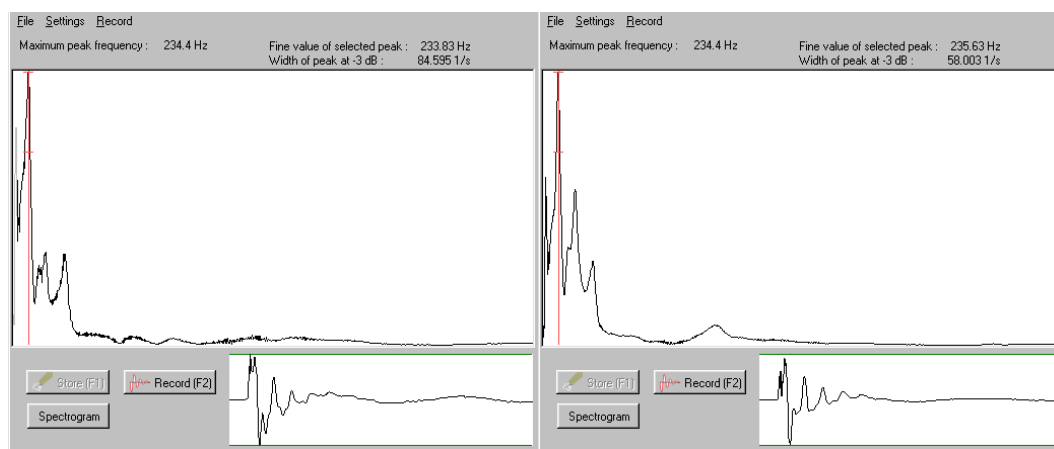
a, b,
14. ábra: A kapott rezonancia frekvencia „akusztó” szivacs alátámasztás használva (a, törött; b, ép tojás esetében)

A 14. ábrán látható némi különbség a repedt és ép tojás képe között. Az alapspektrum igen hasonló mindkét esetben: egy hullámzóan csúcsba futó görbével indít, amit egy nagyobb kiterjedésű csúcsív követ. Repedés esetén (balra) az első, nagyobb csúcsot, ép tojásnál (jobbra) a közepen szabályosan kiemelkedőt vette figyelembe a program. Mivel a két kép között nincs egyértelmű, könnyen detektálható különbség, úgy döntöttem kizárom az „akusztó” szivacsot is.



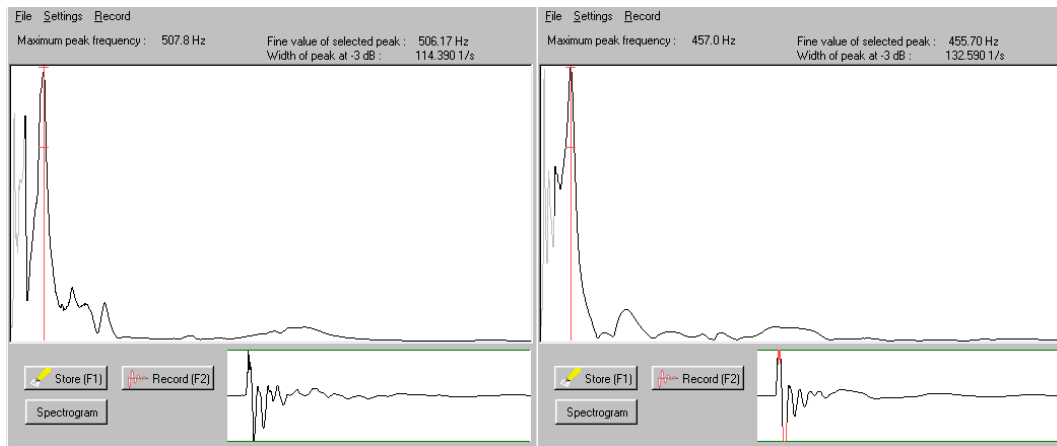
a, b,
15. ábra: A kapott rezonancia frekvencia csomagoló szivacs alátámasztást használva (a, törött; b, ép tojás esetében)

A csomagoló szivacsnál az ép tojás (jobbra) rezonancia frekvencia spektrumán az első magas csúcsot két kisebb követi, repedt tojás (balra) esetén az első csúcs egy hullámban folytatódik, amiben szintén megjelennek kisebb csúcsok (15. ábra). Ez a minimális különbség nem különíti el az elvárt minőségben a tojásokat, emiatt ezzel az alátámasztással nem végeztem több kísérletet.



a, b,
16. ábra: A kapott rezonancia frekvencia vastag habszivacs alátámasztást használva (a, törött; b, ép tojás esetében)

A vastag habszivacsból készült alátámasztás azért került kizárásra, mert használata során nem tapasztaltam különbséget az ép és a repedt tojás rezonancia frekvenciája között, ráadásul a felvett maximális frekvencia teljesen ugyanaz, holott a két tojás különbözött (16. ábra). Mindkét tojásnál felvehető ugyan domináns frekvencia, de nem alkalmas minőségi szempontból elkülöníteni a repedt és az ép tojásokat egymástól.

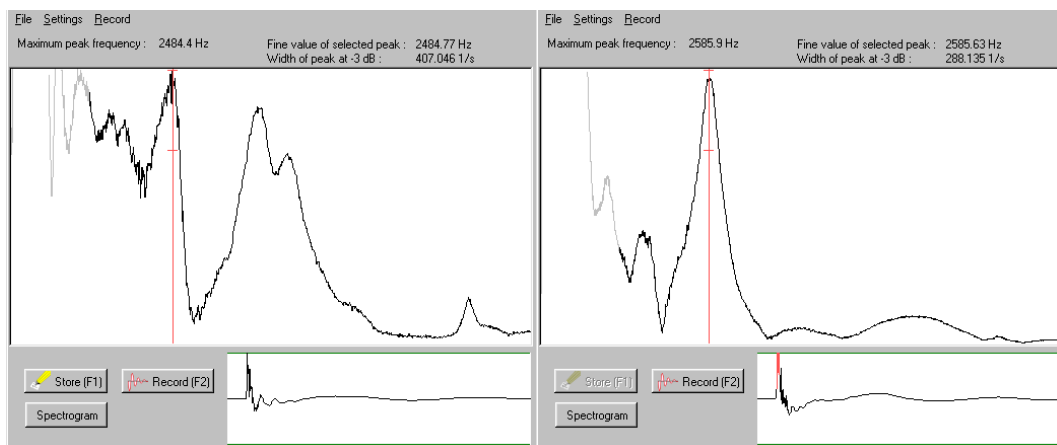


a,

b,

17. ábra: A kapott rezonancia frekvencia extrudált polisztirol alátámasztást használva (a, törött; b, ép tojás esetében)

Hasonló jelenséget tapasztaltam az extrudált polisztirol esetében is (17. ábra). Ez az alátámasztás segítségével sem tudtam elkülöníteni a repedt és ép tojást egymástól, mert a kapott frekvenciakép rendkívül hasonló volt. Ezért a rögzített frekvencia értékek is igen közel estek egymáshoz. Emiatt ez az alátámasztás is alkalmatlannak bizonyult.



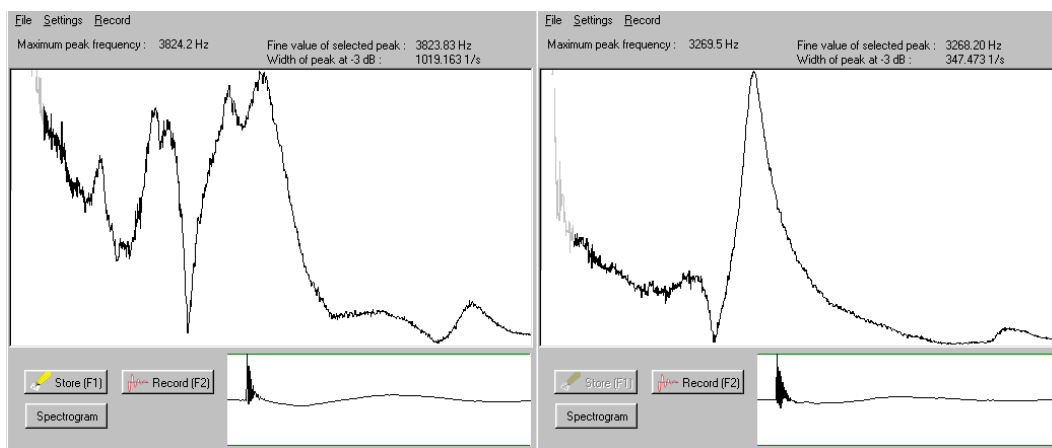
a,

b,

18. ábra: A kapott rezonancia frekvencia parafa alátámasztást használva (a, törött; b, ép tojás esetében)

Parafa esetében az ép és a törött tojás frekvenciaképe elkülönül egymástól (18. ábra). Repedt tojásnál heterogén spektrum (balra) jelenik meg, mely megnehezíti a domináns frekvencia meghatározását. Ép tojás képén (jobbra) egy kiugró csúcs mutatja a tojásra jellemző, legmagasabb

frekvenciaértéket.



a,

b,

19. ábra: akusztikus csillapító vatta által felvett rezonancia frekvencia (a, törött; b, ép tojás esetében)

Az akusztikus vatta használatánál szintén azt tapasztaltam, hogy repedt tojás (balra) megütésekor felvett spektrum nehezen értelmezhető, több egyforma csúcs megjelenése miatt a domináns frekvencia meghatározására alkalmatlan (19. ábra). Ép tojásnál (jobbra) a rá jellemző frekvencia értéken jelenik meg egyetlen domináns csúcs, így ez az alátámasztás alkalmasnak bizonyult a vizsgálatok folytatására.

Repedésvizsgálat segítségével újabb négy alátámasztást sikerült kizárnom, így a további vizsgálatokra már csak a parafa és az akusztikus csillapító vatta maradt.

A parafa igen vékony volt, így nehezen tartotta meg a tojásokat és előfordult, hogy a tojás hozzáért a mikrofonhoz, így a felvett jel nem volt megfelelő, igazítás után újra meg kellett ismételnem a mérést. Mivel a vatta más akusztikus méréseknél is kiválóan alkalmazható és nem tapasztaltam nehézségeket a jelfelvétel során, úgy döntöttem ezt választom a kísérletek folytatásához.

4.2.3. Ismételhetőségi vizsgálat

A vizsgálatok alapján az akusztikus vatta bizonyult a legjobb alátámasztásnak, viszont fontos szempont volt, hogy az ilyen összeállítással kapott rezonancia frekvencia ismételhetősége jó legyen, ezért ismételhetőségi vizsgálatot végeztem. Ennek eredményét mutatja a 3. táblázat, ahol leolvasható az egyes pozíciókban kapott átlag és szórásértékek.

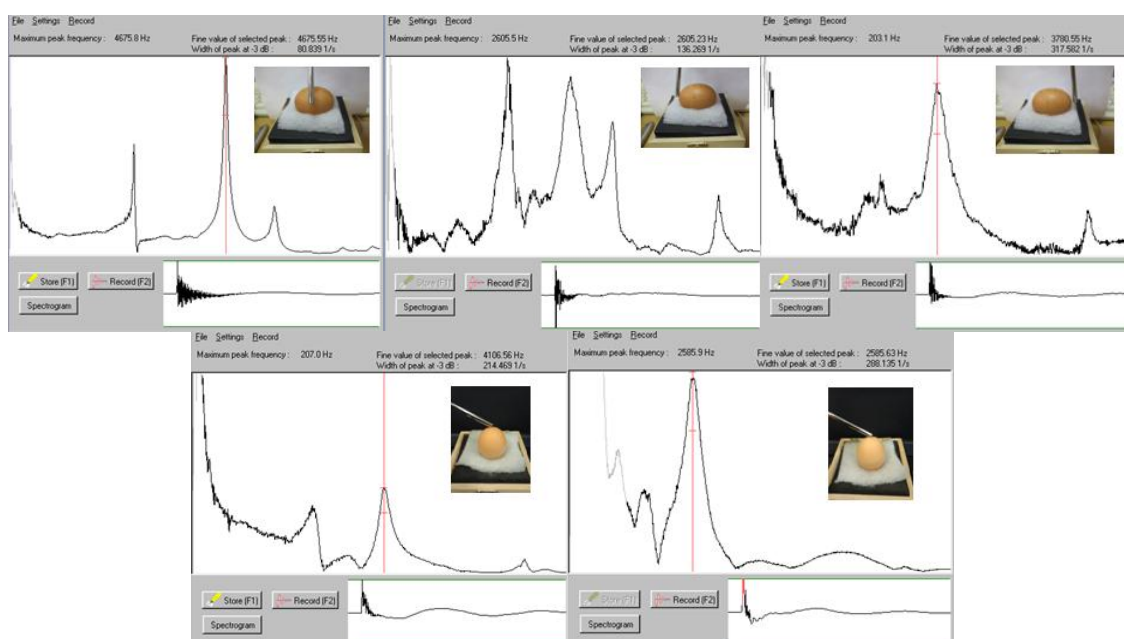
3. Táblázat: Ismételhetőségi vizsgálat (megütés fém pálcá, alátámasztás akusztikus vatta)

Megütés	Hegyes végén	Hossza mentén	Kerülete mentén	Oldalán egy ponton	Tompa végén
Átlag (Hz)	4675,18	4672,44	4664,62	4491,27	4097,27
Szórás (Hz)	1,72	2,52	5,8	9,57	9,74
Szórásértékek (%)	0,037	0,054	0,124	0,213	0,24

Minden pozícióban a szórásértékek 10 Hz, a százalékos szórásértékek 0,25% alatt maradtak. Ez az eredmény nagyon kiemelkedő! A legalacsonyabb szórásértéket a tojás hegyes végén történő megütésével kaptam, ekkor az ismételhetőségi vizsgálat százalékos szórásértéke 0,037% volt. Az így kapott információk segítséget nyújtottak a megfelelő tojáspozíció megtalálásához.

4.2.4. A megfelelő tojáspozíció, gerjesztés és detektálás helyének kiválasztása

Tojás különböző pozícióiban felvett rezonancia frekvencia képet a 20. ábra mutatja.



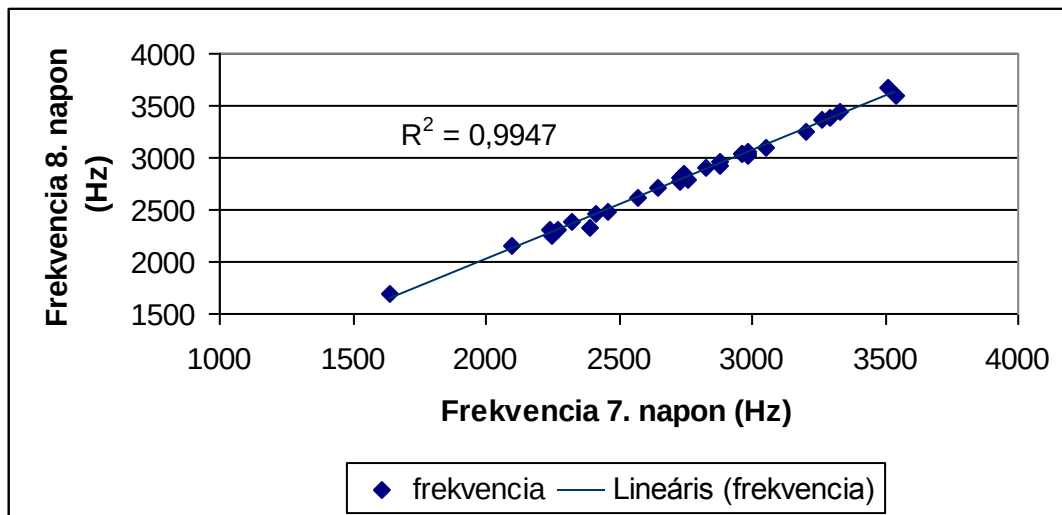
20. ábra: A különböző tojáspozíciók és különböző megütés helyekkel kapott frekvenciakép (balról jobbra felső sor: oldalt fekszik, az oldalán ütöm felülről; oldalt fekszik, tompa végén ütöm; oldalt fekszik, hegyes végén ütöm; alsó sor: hegyes végén áll, tompa végén ütöm; tompa végén áll, hegyes végén ütöm)

Amikor a tojás oldalt fektet és az oldalán vagy a hegyes végén ütöttem meg egyetlen egy domináns csúcs jelent meg. Egyedül a tompa végén történő gerjesztésnél rajzolódott ki több közel egyforma értéket mutató csúcs. Az ábra alsó részében a tompa végén végzett ütés hatására a keletkező csúcs kicsit magasabb az elsőnél, ami hibaforrás lehet. A hegyes végén történő gerjesztésnél a kapott csúcs egyedülálló, és az ismételhetőségi kísérletből kiderült, hogy a legalacsonyabb szórással is bír.

A kísérletek alapján most már egyértelműen látszik, hogy a fém pálcá, mint megütő eszköz és az akusztikus vatta, mint alátámasztás az, amely a felvett spektrum és a repedésdetektálás alapján a legjobbnak bizonyult. Az ismételhetőségi vizsgálaton is rendkívül jól szerepelt, szórások a legtöbb esetben 2Hz (0,04%) alatt maradtak. Ennek alapján megkezdhető a tényleges tárolási kísérletsorozat.

4.3. Tárolási kísérlet

A módszer sikerét bizonyítja, hogy tárolás során a tojások jellemző frekvenciája egyértelműen detektálható és monotonon változó volt. Ez alól kivételt képeztek a törött tojások, melyeknél a változás tendenciája nehezen meghatározható. A módszer reprodukálhatóságát igazolja a 21. ábra. Látható, hogy egymás utáni mérések jól korrelálnak egymással.

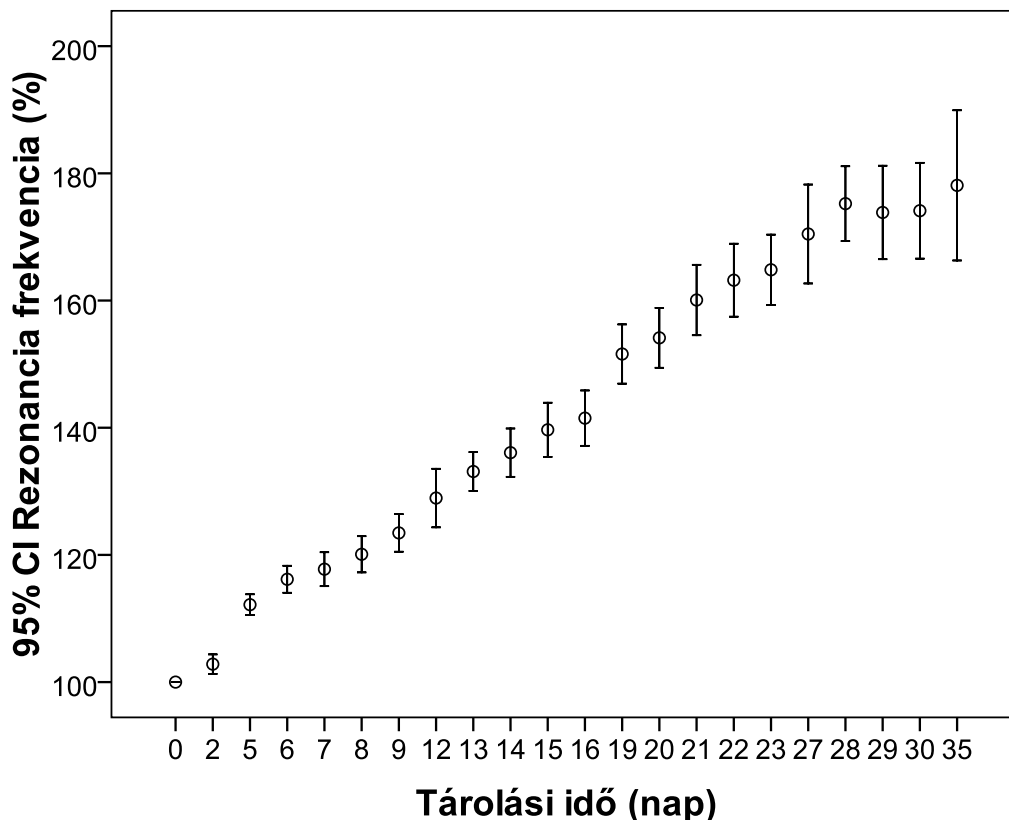


21. ábra: Egymást követő napon felvett rezonancia frekvencia értékeke összefüggése

4.3.1. Frekvenciaváltozás

A következő ábrák (22.-23.) a kiinduláshoz képesti százalékos növekedést vagy csökkenést mutatják az egész tojáscsoportra vonatkozóan 95%-os konfidencia intervallum mellett. A hűtőtároltakknál az első 30 db tojás került ábrázolásra. Az ábrákon a kiugró – repedt tojás- értékek nincsenek ábrázolva.

4.3.1.1. Tárolás szobahőmérsékleten

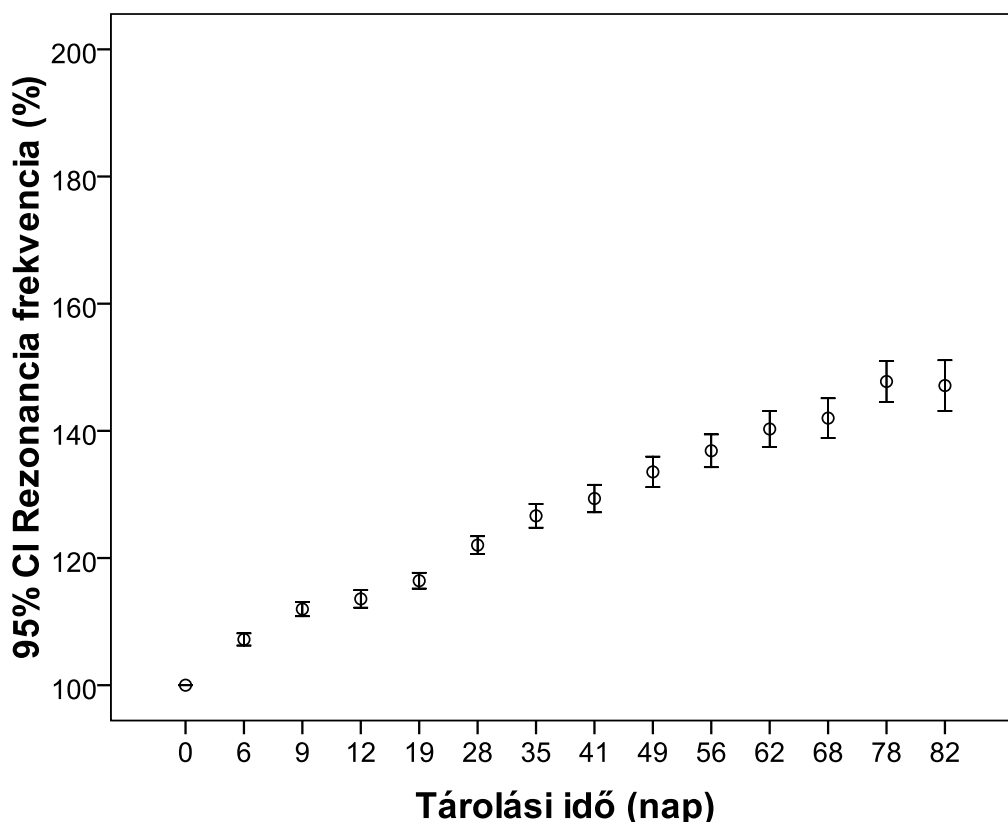


22. ábra: Szobahőmérsékleten tárolt tojások frekvencia változása

A 22. ábra a szobahőmérsékleten, 35 napig tárolt tojások frekvenciaváltozását mutatja be. A változás ilyen rövid idő alatt is intenzívebb volt, mint a 82 napig tartó hűtőtárolás esetében. A tételben lévő tojások rezonancia frekvenciája azonos tendenciával változott (kivéve a repedtek minták). A növekedés átlagban 80% körül mozgott. Indulásnál a frekvencia 2250-2500Hz között volt, a 35. napon ez az érték 4000-4500Hz-re növekedett. A mérés végeztével a hibasávok növekedtek, aminek oka az, hogy a tárolás előrehaladtával a felvett jelben a domináns frekvenciacsúcs alakja megváltozott, már nem emelkedett ki annyira, mint az elején. Az ábrán kirajzolódnak a mérési időszakok, a töréseket a hétvégék miatti vizsgálati szünetek okozták.

4.3.1.2. Tárolás hűtőben

Hűtőtárolás 82 napja alatt gyűjtött frekvencia adatok feldolgozásának eredményét a 23. ábra mutatja. A hűtőtárolást 2X30 db tojáson végeztem, így biztosítva volt a megfelelő mintaszám és az időközben elvégzett egyéb kísérlethez szükséges tojásszám is. Mindkét csoport hasonló változást mutatott. A 23. ábrán az első 30 db tojás százalékos rezonancia frekvenciaváltozását ábrázoltam.

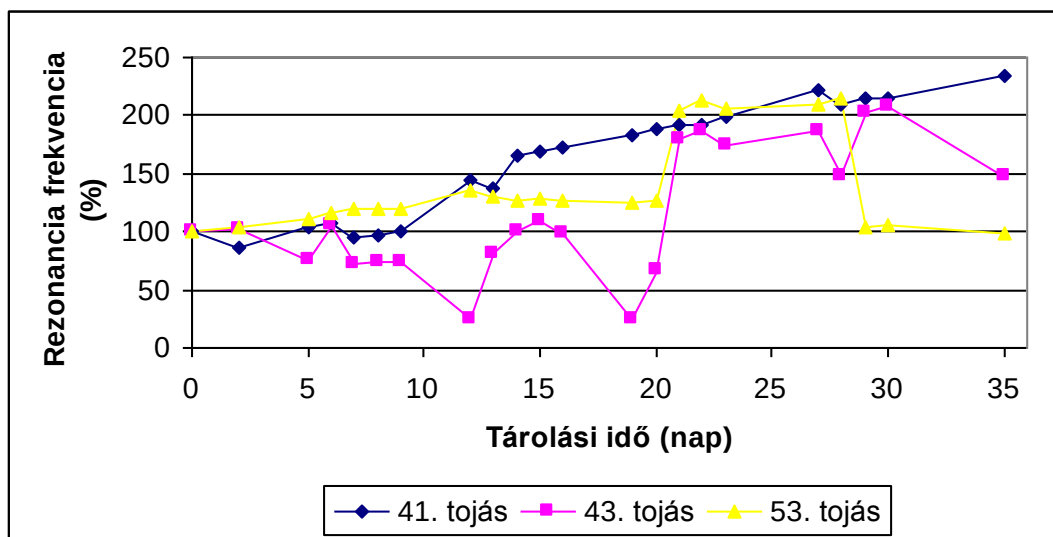


23. ábra: Hűtőben tárolt tojások frekvencia változása

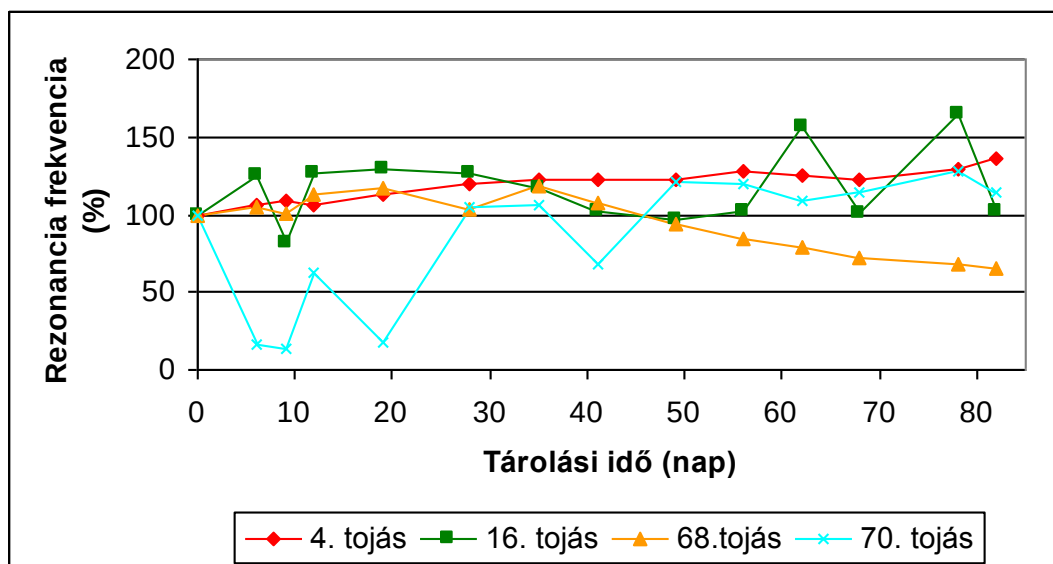
A közel három hónapig tartó mérésorozat eredményéből kitűnik, hogy kb. 50%-os volt a változás a frekvenciában. Érdekes megfigyelni, hogy a szobahőmérsékleten tárolt minták frekvenciája kb. 20 nap alatt változott 50%-t. A frekvencia értékek egyenletesen növekvő tendenciája ezen a hőmérsékleten is megfigyelhető. A hibasávok a hűtőben tárolt minták esetében sokkal kisebbek, mint a szobahőmérsékleten tároltaknál. Ennél a csoportnál is tapasztaltam azt, hogy a hibasávok a mérés végéhez közeledve nőttek. A tárolás első napján 2500-2800Hz közötti értékek kerültek regisztrálásra, melyek 3600-4000Hz közé emelkedtek a 82 napos tárolás alatt.

4.3.1.3. Repedés esetén tapasztalt frekvenciaváltozás

A lenti (24-25.) ábrák szemléltetik a repedt tojásoknál tapasztalt frekvenciaváltozásokat. A frekvencia nem monoton változásának oka, hogy a repedt tojás esetében nem lehetett egyértelműen meghatározni a legmagasabb frekvenciát (ld. 19/a ábra). Mivel több csúcs jelenik meg, valószínűleg minden alkalommal más-más frekvencia került rögzítésre a programban, emiatt a diagramban megjelennek kiugró értékek. Ha ezeket a kiugrásokat figyelmen kívül hagyjuk vagy csak a végpontokat vesszük figyelembe, akkor a törött tojásoknál is megfigyelhetünk egy növekvő tendenciát (24. ábra/41).



24. ábra: Szobahőmérsékleten tárolt törött tojások frekvenciaváltozása



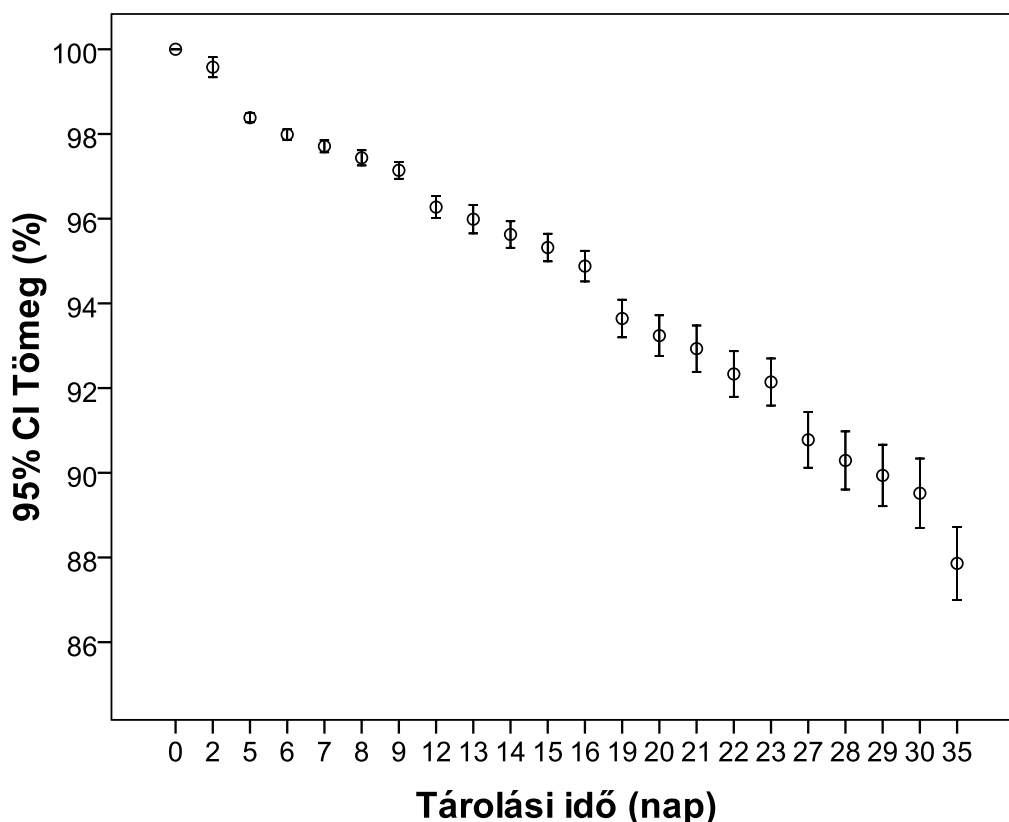
25. ábra: Hűtve tárolt törött tojások frekvenciaváltozás

A repedés detektálásánál megfigyeltem, hogy a repedés helye befolyásolja a detektálhatóságot. Emiatt indokolt a repedés kimutatásához a tojás több helyen történő gerjesztése.

4.3.2. Tömegváltozás

A következő ábrákon a tömegváltozást mutatom be. A hűtőtárolásnál mindkét csoport hasonlóan viselkedett, az ábrákon az első 30 db tojás értékei láthatók. A kiugró értékeket itt is kivettem.

4.3.2.1. Tárolás szobahőmérsékleten

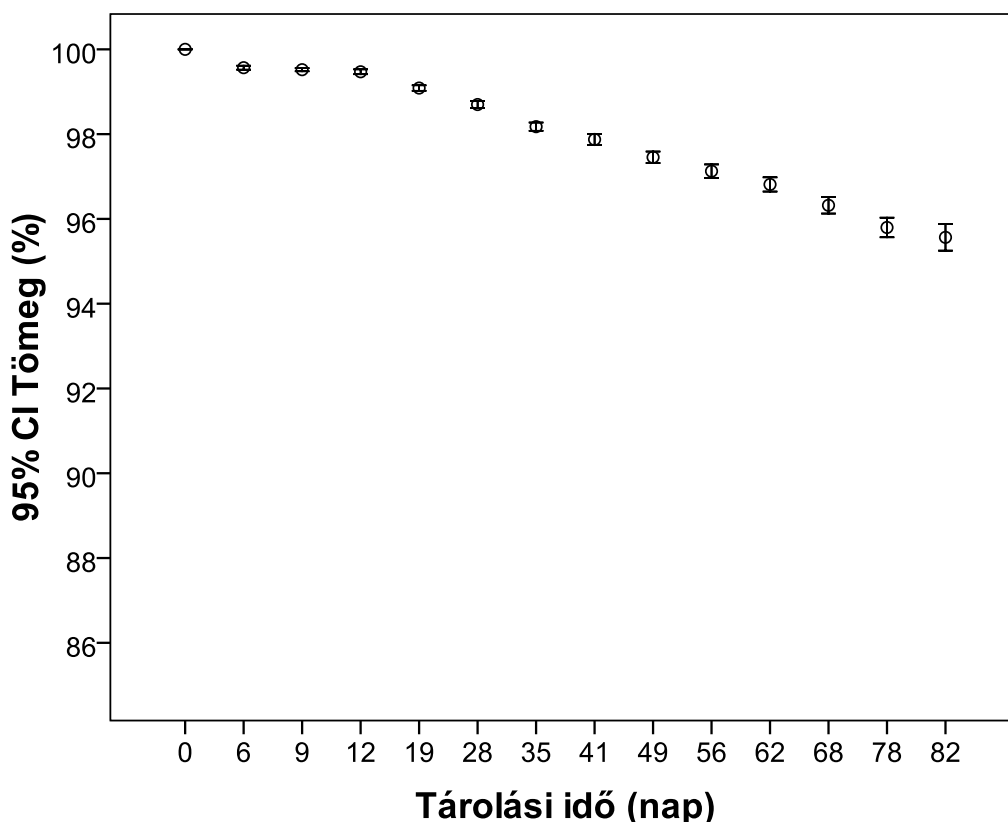


27. ábra: Szobahőmérsékleten tárolt tojások tömegének változás

A szobahőmérsékleten tárolt tojásoknál a tömegcsökkenés mértéke jelentős volt (26. ábra). Kb. 12%-os csökkenést tapasztaltam. A hibasávok itt is nőttek a tárolás végéhez közel, a tömegveszteség tojásonként eltérő sebességű volt, a repedt tojásoknál gyorsabb tömegváltozást tapasztaltam. A kiindulási 65-67g-ról 56-59g közé csökkent a tömegük.

4.3.2.2. Tárolás hűtőben

Hűtős csoportnál a tömegcsökkenés kisebb mértékű volt, mint a szobahőmérsékleten tárolt csoportnál (27. ábra). A 82 napos tárolás alatt 4-5%-os tömegveszteség mutatkozott. A 35. napon, amikor a szobahőmérsékleten tárolt mintákat feltörtem a hűtőben tárolt tojások tömegcsökkenése még csak 3% körül mozgott, amit a szobában tároltak már az 9. napon elértek.



28. ábra: Hűtőben tárolt tojások tömegének változása

A hiba sávok növekedése itt is megfigyelhető, viszont a hibasávok nagysága a tárolás utolsó napján sem voltak jelentős, a repedt tojások tömege sem csökkent jelentősebben. Ahogyan a frekvencia értékeknél, a tömeg értékek sem változtak intenzíven a hűtőtárolás során. Itt 65-67g-ról 63-64g-ra csökkentek a tömeg értékek.

4.3.3. Frekvencia és tömeg kapcsolata

Korábban Wang és társai (2004) megállapították, hogy a tömeg hatással van a kapott rezonancia frekvenciára: a nagyobb tömeg alacsonyabb jellemző frekvenciát okoz. Kísérleteikből az is kiderül, hogy a nagyobb sűrűség megnöveli a domináns frekvenciát.

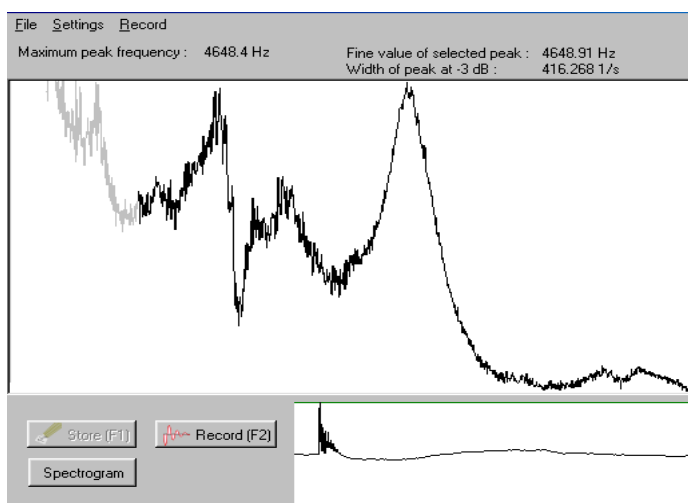
A tojások tömege tárolás során csökkent, ugyanakkor térfogatuk nem változott, tehát a sűrűségük csökkent. Azt egyértelműen ki lehet jelenten, hogy a rezonancia frekvenciában bekövetkező változások sokkal intenzívebbek, mint az adott esetben tapasztalt tömegcsökkenések. A frekvencia intenzív növekedése arra enged következtetni, hogy az akusztikus módszer sokkal érzékenyebben mutatja ki a tojásokban bekövetkező változást, mint a tömegcsökkenést. Erre utal továbbá a tárolás végeztével felvett rezonancia frekvencia spektrumok is. A jelben tapasztalt minőségcsökkenés nem magyarázható sem repedés kialakulásával, sem a tömegcsökkenéssel, mivel maga a tömeg nem befolyásolja a kapott jel karakterisztikáját.

4.3.4. Tojások feltörése

A tojások feltörésének időpontját a felvett frekvencia spektrumban tapasztalt betároláshoz képest nagymértékű változások indokolták.

4.3.4.1. Szobahőmérsékleten tároltak

Szobahőmérsékleten tároltaknál az utolsó mérés során kapott frekvenciajelek zavarosak, a domináns csúcs mellett több rezonancia csúcs is megjelent. A kapott spektrumok többszöri ismétlésre sem változtak (28. ábra), így döntöttem a tojások feltörése mellett. Külsejét tekintve a héjon folt, sérülés nem látszódott, kivéve a korábban megrepedt tojást, kellemetlen szag nem érződött.



29. ábra: Jellemző frekvenciakép szobahőmérsékleten tárolt tojásoknál a feltörést megelőzően

A tojások feltörésekor először feltűnt, hogy megütéskor héj nem vonalban, hanem mindenfelé, pókhálósan repedt tovább, így kinyitáskor a sárgája könnyen sérült. A 29. ábra jobb oldalán meg is figyelhető, hogy a külső hártya erősen hozzátapadt a héjhoz, egy plusz védőhártyát képezve és megnehezítve a feltörést. Hasonlót tapasztalhat, aki a konyhában egy „régebbi” tojást főz meg, majd megtisztít. Ilyenkor a héj leválasztásánál a hártya is jön vele megkönnyítve a héjeltávolítást.

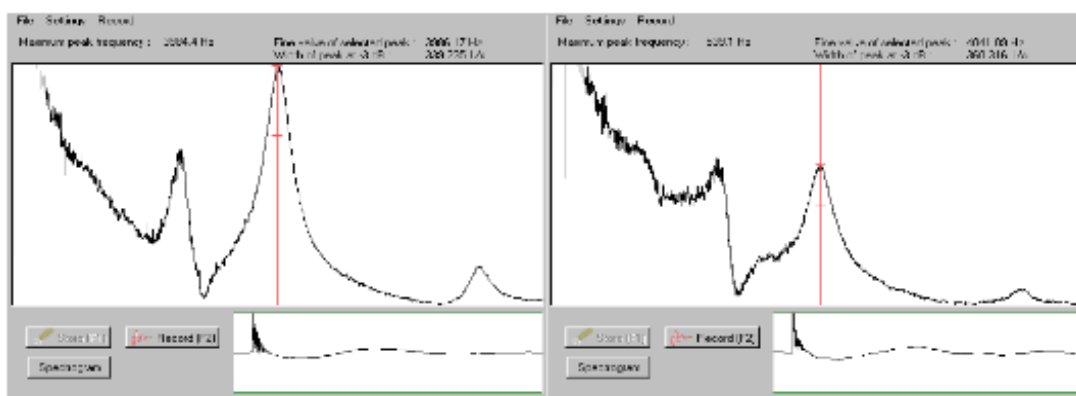


30. ábra: A korábban szobahőmérsékleten tárolt tojás feltörés után és a tojásban lévő légkamra

A fenti ábra baloldalán megfigyelhető, hogy a tojás fehérjéje elterül a tányéron, nincs meg a sárgáját körülölelő kettős réteg. A sárgája veszített domborúságából, viszont nem terül el, tartja a formáját. A jobb oldali képen egy átlagos minta légkamra mérete látható. A mért adatokból is kiderül, hogy a tojások tömegcsökkenése összefügg a légkamra növekedésével.

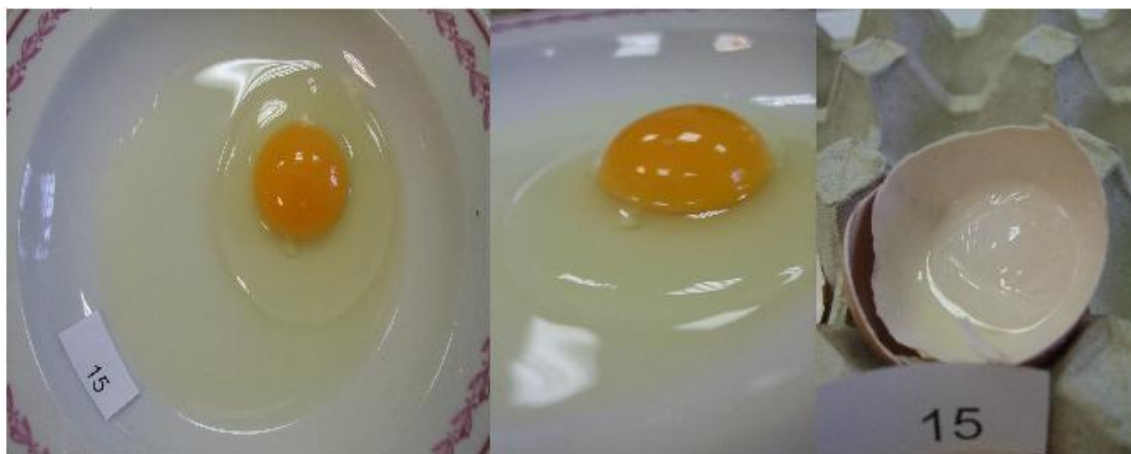
4.3.4.2. Hűtőben tároltak

A hűtve tárolt tojásoknál a feltörést megelőző mérésnél többségében jól detektálható, a kezdeteknél megszokott csúcsíves rezonancia frekvencia jelent meg, de ennek is két típusát különböztettem meg a tárolás végén. A 30. ábra baloldalán látható képen szép ívelten kirajzolódik a domináns frekvencia csúcsa, de már előtte megjelenik egy kisebb csúcs, amit a mérés elején még nem tapasztaltam. A jobboldalon szintén a tárolás utolsó napjaiban felvett rezonancia frekvencia látható, itt a domináns frekvencia már nem annyira emelkedik ki a képből.



31. ábra: Jellemző frekvenciakép hűtve tárolt tojásoknál a feltörés előtt

Hűtőben tárolt tojások feltörése során ugyanúgy tapasztaltam nehézségeket, itt is óvatosan kellett felnyitnom a tojást. A 31. ábra mutatja, hogy ezeknél a tojásoknál a sűrű és híg fehérje réteg még elkülönül, a sárgája domború, nem terül el. Légkamra mérete kisebb szobahőmérsékleten tároltakéhoz. A csoporton belül a légkamra mérete hasonló volt, mely magyarázható a tojások tömegének hasonló mértékben történő csökkenésével.



32. ábra: Hűtőtárolt tojások feltörés után és a tojásban lévő légkamra

5. Összefoglalás

A tojás forgalomba hozatala előtt csomagolási és osztályozási eljárásokon megy keresztül, melynek fontos lépése a minőségi átvizsgálás. Úgynevezett lámpázás során egy nagy erejű fénnel világítják meg a tojásokat, így kirajzolódnak a héjon vagy a belsejében meglévő esetleges hibák. Különböző kísérletek zajlottak a lámpázás, mint minőségellenőrzési módszer kiváltására és egy olyan módszer kifejlesztésére, ami megbízhatóan, roncsolásmentesen, számítógépes adatfeldolgozás mellett képes megvizsgálni a tojásokat. A kísérleti módszerek közül az akusztikus vizsgálat bizonyult a legígéretesebbnek.

A BCE Fizika-Automatika Tanszékén már kifejlesztettek egy, az akusztikus vizsgálat elvégzésére alkalmas műszert és a kapott jel feldolgozásához szükséges programot. Céлом volt a meglévő berendezés alkalmazásával az akusztikus módszer alkalmazása tojásokra. Ennek érdekében megvizsgáltam a különböző gerjesztő eszközök, alátámasztások, tojáspozíciók által továbbított rezonancia frekvenciát, hogy kiválasszam a legmegfelelőbb mérési elrendezést. Ez után tárolási kísérletet végeztem, hogy igazoljam a módszer alkalmasságát a tojások minőségi becslésére.

Gerjesztő eszközként fém-, fa- és üveg pálcát használtam, melyek közül egyedül fémmel sikerült a tojásokon olyan rezgéshullámot létrehozni, amelynél kirajzolódott a tojás domináns frekvenciája. A kezdeti nyolc különböző alátámasztásból a jelminőség alapján kettőt zártam ki (üvegyapot, hungarocell). Az ezt követő repedésdetektálási vizsgálaton újabb 4 alátámasztást („akusztó” szivacs, habszivacs, csomagoló szivacs, extrudált polisztirol) tudtam kizárni. A megmaradt 2 alátámasztás (parafa, akusztikus csillapító vatta) közül végül a vattát választottam, mivel stabilabban támasztotta meg a tojásokat.

Az akusztikus csillapító vattával végzett ismételhetőségi vizsgálatkor, a tojás bármely részét gerjesztve, a rezonancia frekvencia százalékos szórásértékei 0,25% alatt maradtak. Amikor a hegyes végen ütöttem a tojást a szórás 2 Hz alatt volt, ami 0,04%-os szórásnak felel meg. Az ismételhetőségi vizsgálat és a rezonancia frekvencia kép alapján választottam ki a megfelelő gerjesztési és detektálási pozíciót: hegyes végen történő megütés és az átellenes, tompa végen történő detektálás.

Így a tárolási kísérlet során gerjesztő eszközként fém pálcát, alátámasztásként akusztikus csillapító vattát használtam, minden esetben a hegyes végükön ütöttem és a tompa végükön detektáltam a tojásokat.

Tárolási kísérlet során 90 db friss tojást vizsgáltam, amiket szobahőmérsékleten (30 db, $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, 35 napig) és hűtve (60 db, $5\pm 2^{\circ}\text{C}$, 82 napig) tároltam. Mindkét tárolási hőmérsékleten

monoton növekedést tapasztaltam a rezonancia frekvenciákban. Szobahőmérsékleten tároltaknál körülbelül 80%-os, hűtve tároltaknál 50%-os emelkedés mutatkozott. A tojások tömege a tárolás alatt folyamatosan csökkent, szobahőmérsékleten tároltaknál 12%-kal, hűtőben 4%-kal. A tárolás végén frekvencia jelben tapasztalt nagyarányú változásból arra következtettem, hogy nemcsak a tömeg van hatással a rezonancia frekvenciával, hanem a tojás belső szerkezete is befolyásolja azt.

Kísérletekből kiderült, hogy az akusztikus módszer az általam kidolgozott összeállításban alkalmas a tojások minőségbecslésére. A megfelelő mérőmódszer és elrendezés használatával alátámasztás, gerjesztő eszköz és gerjesztési pont nem befolyásolja a tojás rezonancia frekvenciáját. Így ez az akusztikus módszer magas megbízhatósági szint mellett képes követni a tojások tárolása során bekövetkező minőségi változásokat és képes szelektálni a repedt tojásokat. Egyszerű elrendezésnek, jel- és adatfeldolgozási módszernek köszönhetően könnyen adaptálható az ipari folyamatokba.

6. Irodalom:

1. Alsobayel, A.A., M.A. Albadry (2011): Effect of storage period and strain of layer on internal and external quality characteristic of eggs marketed in Riyadh area, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 10 (2011) PP. 41-45.
2. Bell, D. D. and William D. Weaver, Jr. (szerk.) (2002): Commercial chicken meat and egg production, 5. kiadás, Massachusetts USA, Kluwer Academic Publishers, PP.1109-1228.
3. Eissa, A.H. Amer (2008): Comparative eggshell stability assessment using three different non-destructive sensing instruments and breakage force strength, Journal of Food Engineering, 93 (2009) PP. 444-452.
4. Hermiz, H.N., K.A. Abas, T.R. Al-Khatib, Sh. M. Amin, A.M. Ahmed, D.A. Hamad, H.P. Denha (2012): Effect of strain and storage period on egg quality characteristics of local Iraqi laying hens, Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences, 2 (2012) PP. 98-101.
5. Hunton, P. (szerk.) (1995): World Animal Science, C9, Poultry production, Amszterdam, Elsevier kiadó, 20. fejezet: Egg production processing marketing PP. 457-483.
6. Karoui, R., R. Schoonheydt, E. Decuypere, B. Nicolai, J. De Baerdemaeker (2007): Frontface fluorescence spectroscopy as a tool for the assessment of egg freshness during storage at a temperature of 12,2°C and 87% relative humidity, Analytica Chimica Acta, 582(1) (2007) PP. 83-91.
7. Keener, K.M., K. C. Mcavoy, J. B. Foegeding, P.A. Curtis, K.E. Anderson, J.A. Osborne (2006): Effect of testing temperature on internal egg quality measurements, Poultry Science, 85 (2006) PP. 550-555.
8. Ketelaere, B. De, P. Coucke, J. De Baerdemaeker J. (2000): Eggshell Crack Detection based on Acoustic Resonance Frequency Analysis, Journal of Agricultural Engineering Research, 76(2) (2000) PP. 157-163.
9. Ketelaere, B. De, K. Maertens, J. De Baerdemaeker (2004): Noise cancellation in on-line acoustic impulse response measurements for the quality assessment of consumption eggs,

Mathematics and Computers in Simulation, 65 (2004) PP. 59-67.

10. Kim, S. H., D. K. Youn, H. Kyoon No, S. Choi, W. Prinayawiwatukul (2009): Effects of chitosan coating and storage position on quality and shelf life of eggs, *International Journal of Food Science & Technology*, 44(7) (2009) PP. 1351-1359.
11. Kozák, J. (szerk.) (2007): *Állattenyésztés*, Debrecen, Kiadó: Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar, PP.121-122.
12. Li, Y., S. Dhakal, Y. Peng (2012): Machine vision system for identification of micro-crack in egg shell, *Journal of Food Engineering*, 109(1) (2012) PP. 127-134.
13. Lin, H., J. Zhao, L. Sun, Q. Chen, Z. Sun, F. Zhou (2011): Stiffness measurement of eggshell by acoustic resonance and PLS models, *Journal of Food Engineering*, 103 (2011) PP. 351-356.
14. Ragin, L., A. Al-Shami, G. Mikhaylenko, J. Tang (2007): Dielectric characterisation of hen eggs during storage, *Journal of Food Engineering*, 82(4) (2007) PP. 450-459.
15. Scott, T.A., F.G. Silversides (2000): The effect of storage and strain of hen on eggs quality, *Poultry science*, 79 (2000) PP: 1725-1779.
16. Shin, D., C. Narciso-Gaytán, J.M. Regenstein, M.X. Sánchez-Plata (2012): Effect of various temperatures on quality of shell eggs, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(7) (2012) PP. 1341-1345.
17. Silversides, F. G., T.A. Scott (2001): Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens, *Poultry Science*, 80 (2001) PP. 1240-1245.
18. Wang, J., R.S. Jiang, Y. Yu (2004): Relationship between dynamic resonance frequency and egg physical properties, *Food research international*, 37 (2004) PP. 45-50.
19. Wardy, W., D.D. Torrico, H. Kyoon No, W. Prinyawiwatkul, F.K. Saalia (2010): Edible coating affects physico-functional properties and shelf life of chicken eggs during refrigerated and room temperetaure storage, *International Journal of Food Science &*

Technology, 45(12) (2010) PP. 2659-2668.

20. Yongwei W., J. Wang, B. Zhou, Q. Lu (2009): Monitoring storage time and quality attribute of egg based on electronic nose, *Analytica Chimica Acta*, 650(2) (2009) PP. 183-188.

6.1. Internetes forrás:

21. Clements, M. (2010): The ever-changing face of European egg production (2012.05.31.):
http://www.wattagnet.com/The_ever-changing_face_of_European_egg_production.aspx

22. Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék (2010): Állattermék technológiák és minőségügy I.: húsipari előadások (2012.05.31.):
http://huto.uni-corvinus.hu/fileadmin/user_upload/hu/tanszekek/elelmiszertudomanyi/huto/files/letoltes/1112_2/ET_EMLHA01BB_Altermtech1_lev/Alterm1_lev_hus_ea.pdf

23. Magyar Tojás Kft. (2008-2010): A tojás felépítése (2012.05.31.):
<http://tojas.hu/tojas-felepitese>

24. Microsensor Kft. (1995): Piezo-film érzékelők (2012.05.31.):
<http://microsensor.hu/index.php/hu/measspec-hu/piezo-film-erzekelok>

25. Opal Média és Kommunikációs Bt. (2012): KSH dinamikusan növekszik a tojás ára (2012.05.31.):
<http://www.agroinform.com/aktualis/Agroinform-Hirszolgalat-KSH-dinamikusan-novekszik-a-tojas-ara/20120313-19024/>

26. Piackutatások.hu (2009): Tojástermelés és -fogyasztás stagnál az Európai Unióban-2009 március (2012.05.31.):
<http://www.piackutatasok.hu/2009/04/tojastermeles-es-fogyasztas-stagnal-az.html>

27. Top5 of anything (2011): The top 5 egg producing countries (2012.05.31.):
<http://www.top5ofanything.com/index.php?h=ed1dd3b2>

28. Vidékfejlesztési Minisztérium (2002): 23/2002. (IV.5.) FVM rendelet (2012.05.31.):
<http://www.fvm.hu/main.php?folderID=1978&articleID=4610&ctag=articlelist&iid=1>

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulenseimnek: Dr. Zsorné Dr. Muha Viktóriának és Dr. Felföldi Józsefnek, hogy biztosították a megfelelő szakmai és technikai háttérrel diplomadolgozatom elkészítéséhez, valamint a Capriovus Kft.-nek, hogy rendelkezésemre bocsájtotta a kísérletekhez szükséges tojásokat.