

# **DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS**

**TORMA TÍMEA ÁGNES**

**MOSONMAGYARÓVÁR**

**2024**

**SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM**  
**MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR**  
**ÁLLATTUDOMÁNYI TANSZÉK**  
**WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZER- TUDOMÁNYI**  
**MULTIDISZCIPLINÁRIS**  
**DOKTORI ISKOLA**  
**UJHELYI IMRE ÁLLATTUDOMÁNYI DOKTORI PROGRAM**

**DOKTORI ISKOLAVEZETŐ:**

**PROF. DR. VARGA LÁSZLÓ DSC**

**EGYETEMI TANÁR**

**PROGRAMVEZETŐ:**

**DR. SZABÓ FERENC DSC**

**EGYETEMI TANÁR**

**TÉMAVEZETŐ:**

**KOVÁCSNÉ DR. GAÁL KATALIN CSc PROFESSOR EMERITA**

**EGYETEMI TANÁR**

**A MECHANIKAI HATÁS VIZSGÁLATA A**  
**KELTETHETŐSÉGRE**

**KÉSZÍTETTE:**

**TORMA TÍMEA ÁGNES**

**MOSONMAGYARÓVÁR**

**2024**

**2**

## A MECHANIKAI HATÁS VIZSGÁLATA A KELTETHETŐSÉGRE

Írta:

**TORMA TÍMEA ÁGNES**

**Készült a Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar  
Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer- tudományi Multidiszciplináris  
Doktori Iskola**

**Ujhelyi Imre Állattudományi Doktori Programja keretében**

**Témavezető: Kovácsné Dr. Gaál Katalin**

**Elfogadásra javaslom (igen / nem)**

**(aláírás)**

**A jelölt a doktori komplex vizsgán megfelelt.**

**Mosonmagyaróvár, .....**

.....

**a Komplex Vizsga Bizottság elnöke**

**Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)**

**Első bíráló (Dr. ....) igen/nem**

**(aláírás)**

**Második bíráló (Dr. ....) igen/nem**

**(aláírás)**

**Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) igen/nem**

**(aláírás)**

**A jelölt az értekezés nyilvános vitáján .....%-ot ért el.**

**Mosonmagyaróvár, .....**

**A Bírálóbizottság elnöke**

**Doktori (PhD) oklevél minősítése.....**

**Az EDT elnöke**

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>KIVONAT</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE</b> .....	<b>11</b>
<b>1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS</b> .....	<b>13</b>
1.1. Az értekezés célkitűzései .....	18
<b>2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	<b>19</b>
2.1. A mechanikai hatás és a tojánhéj .....	19
2.2. A szállítás hatása a tojásminőségre .....	22
2.2. A szállítótálca, mint tényező .....	27
2.4. A mechanikai hatás befolyása a keltethetőségre és az embrió fejlődésére .....	35
2.5. Tojástárolás alatti rövid idejű keltetés (SPIDES <sup>1</sup> ) hatása a keltethetőség megőrzésére .....	52
2.6. Keltetés alatti mechanikai hatások és befolyásuk .....	55
<b>3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK</b> .....	<b>64</b>
3.1. Érzékelők, adatrögzítő loggerek és adattorzformációk .....	64
3.1.1. Általános információk az érzékelő- adatrögzítő loggerekről .....	64
3.1.2. A vizsgálatokban használt érzékelő- adatrögzítők és előzetes mérések .....	65
3.1.2.1. Tinytag adatrögzítő/logger .....	65
3.1.2.2. Tinytag adatrögzítő/logger üzemi mérések .....	67
3.1.2.3. HOBO adatrögzítő/logger .....	67

---

<sup>1</sup> Short Period of Incubation During Storage

3.1.2.4. HOBO adatrögzítő/logger üzemi mérések .....	68
3.1.3. Loggeradatok transzformációja .....	69
3.2. A szállítás mechanikai hatását modellező gép .....	69
3.3. Tojásgyűjtő-, szállító- és keltetőtálcák .....	69
3.3.1. Tojásgyűjtő-, szállító- és keltetőtálcák vizsgálata .....	72
3.4. A kísérletekben felhasznált tojások .....	73
3.5. Tojások kezelése, keltetése és az ahhoz kapcsolódó adatgyűjtés	74
3.6. Kísérletek anyag és módszere .....	78
3.6.1. CFM gép alkalmassága a szállítás modellezésére .....	80
3.6.2. Különböző behatási (kezelési) idők, tálcátípusok és vonalak vizsgálata .....	81
3.6.3. Tárolás alatti rövid idejű keltetés (SPIDES) bevezetése a mechanikai hatással kiváltott károsodás enyhítésére .....	82
3.6.4. Különböző mértékű mechanikai hatások és a SPIDES vizsgálata .....	86
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK .....	91
4.1. Üzemi körülmények között végzett mérések és értékelésük .....	91
4.1.1. Tinytag adatrögzítő/logger üzemi mérések .....	91
4.1.2. HOBO adatrögzítő/logger üzemi mérések .....	92
4.2. Tojásgyűjtő-, szállító- és keltetőtálcák vizsgálata .....	98
4.3. Kísérletek eredményei .....	99
4.3.1. CFM gép alkalmassága a szállítás modellezésére .....	99
4.3.2. Különböző behatási (kezelési) idők, tálcátípusok és vonalak vizsgálata .....	108
4.3.3. Tárolás alatti rövid idejű keltetés (SPIDES) bevezetése a mechanikai hatással kiváltott károsodás enyhítésére .....	115

<b>4.3.4. Különböző mértékű mechanikai hatások és a SPIDES vizsgálata</b>	
.....	<b>123</b>
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVALATOK</b>	<b>149</b>
<b>6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK</b>	<b>155</b>
<b>7. ÖSSZEFOGLALÁS</b>	<b>157</b>
<b>8. SUMMARY</b>	<b>160</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK</b>	<b>162</b>
<b>PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK</b>	<b>171</b>
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b>	<b>174</b>
<b>MELLÉKLETEK</b>	<b>175</b>

## KIVONAT

A tojáskezelés és tojásszállítás különböző monitoring módszerei segédkezet nyújtanak ahhoz, hogy a kritikus pontokat beazonosíthassuk, és megfelelő lépéseket tegyünk a kedvezőtlen hatások kiküszöbölésére. A dolgozatban bemutatott vizuális technikák mellett különböző típusú mechanikai hatást mérő adatrögzítő loggerekkel végzett mérések eredményei és az abból készített adat-transzformációk és elemzéseik is összehasonlításra kerültek.

A loggerek által mért adatok és a számított RSM és RSS értékék alapján a különböző technológiai folyamatok során megfigyelt mechanikai hatások számszerűsíthetők és összehasonlíthatók.

A kísérletekben vibrációs gépen modellezett szállítási körülmények beállításai megismételhetők voltak és megerősítést nyert, hogy az alkalmazott gép megfelel a szállítási körülmények szimulálására.

A mechanikai hatás mértéke a vizsgálatban nagyobb hatást mutatott, mint a tojástálca anyaga vagy a vibrációs hatás időtartama.

A törött és hajszáltrepedt tojások befolyásolták leginkább a kelési eredményeket és szoros korrelációt ( $r= 0,72$ ) mutattak a vibrációs kezeléssel.

Ezen túl, a vibráció szoros, szignifikáns kapcsolatot mutatott a korai elhalt embriók arányával ( $r= 0,72$ ), ami szintén negatívan befolyásolta a keltetés sikerességét.

Mivel a kelési eredmény csökkenése a legtöbb kísérletben a korai elhalt embriók megemelkedett arányával magyarázható, a csírákorong életképességének javítása érdekében bevezetett technológiai eljárás (tárolás alatt végrehajtott rövid idejű keltetés - SPIDES) bizonyítottan

javíthatja a mechanikai hatásnak kitett tojások kelési eredményét, de csak abban az esetben, ha annak időzítése megfelelő.

További befolyásoló hatással bírt a mechanikai kezelés és a keltetés beindítása között eltelt idő, valamint a vizsgálatba vont vonalak genetikai háttere.

Lényeges, hogy a tenyésztőjást előállító cégek saját tojáskezelési eljárásaikat és a tojásszállítás körülményeit monitorozzák annak érdekében, hogy megismerjék, mi az a maximális behatás, amit a tojás elszenved, az melyik technológiai lépésnek tulajdonítható és ez mekkora anyagi kárt okoz a cégnek.

**ABSTRACT**

Different monitoring methods of egg handling and egg delivery provide help identifying critical points, and taking appropriate steps to eliminate them. In addition to the visual techniques presented, data measurements, data transformations and analyses from different types of mechanical effects were also compared.

Based on the data measured by the loggers and the calculated RSM and RSS values, the mechanical impacts reported during the various technological processes can be quantified and compared.

In the experiments carried out on the vibration machine modelled transport conditions, test settings were repeatable and confirmed that the machine used was suitable for simulating transport conditions.

The degree of mechanical effect was more relevant than the egg tray material or the duration of the vibration effect.

The broken and hairline cracked egg percentage influenced mostly the hatchability results and showed strong correlation ( $r = 0.72$ ) with vibration treatment.

In addition, vibration showed strong, significant correlation with the proportion of early dead embryos ( $r = 0.72$ ), which also has negative effect on the hatchability.

As the decrease of hatchability result in most experiments can be explained by the increased proportion of early dead embryos, the technological process (short-term storage under SPIDES), introduced to improve the viability of the germinal disc, has been shown to improve the hatchability of eggs exposed to mechanical effects, if its timing is appropriate.

Further influence of the elapsed time between mechanical impact and launching the incubation process as well as the genetic background of the breeding lines involved in the study were also observed. It is important that breeding egg producing companies monitor their own egg handling procedures and egg delivery conditions during the operations, what is the maximum impact the eggs suffer, which technological step can be attributed to it, and the extent of its economic damage to the company.

**RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE**

<b><i>Rövidítés</i></b>	<b><i>Leírás</i></b>
BL / BLoF%	1. típusú rendellenes fekvésű – Fej a combok között (Between Legs)- embriók / % -os aránya termékeny tojásra vetítve
CFM	Mechanikai hatást modellező gép – Crazy Fitt Machine
CR%	Törött/hajszálrepedt tojások aránya
CULLSoF	Selejt csibék aránya termékeny tojásra vetítve, %
EDoF%	Termékeny tojásra vetített, a keltetés korai szakaszában (első hét) elhalt embriók aránya, %
FL	Female Line – anyai vonal
HOF%	Termékeny tojásra vetített keltethetőség (kikelt csibe), % (Hatch of Fertile)
HOV%	Élő embriókra vetített keltethetőség (kikelt csibe), % (Hatch of Viable)
EGK	EYAL-GILADI és KOCHAV (1976) által kidolgozott embriófejlődési fokozat Torzképződmények - agyszövet kizáródás, hiányzó szem(ek), csőr-, és/vagy abnormalitások a fejen – tüneteit mutató embriók aránya termékeny tojásra vetítve, %
EYEFACEoF%	
g	Nehézségi gyorsulás, értéke = $9,81 \text{ m/s}^2$
HAW/HAWoF	6. típusú rendellenes fekvésű – csőr a jobb szárny felett (Head Above Wing)– embriók / % -os aránya termékeny tojásra vetítve
HH	HAMBURGER és HAMILTON (1951) által kidolgozott embriófejlődési fokozat
LDoF%	Termékeny tojásra vetített, a keltetés késői szakaszában (utolsó hét) elhalt embriók aránya, % Torzképződmények - szám feletti végtagok, gerinc duplikáció – tüneteit mutató embriók aránya termékeny tojásra vetítve
LIMBoF%	

ML	Male Line – apai vonal
MDoF%	Termékeny tojásra vetített, a keltetés középső szakaszában (2. hét) elhalt embriók aránya, %
LW/LWoF%	3. típusú rendellenes fekvésű – balra fordított fej (Left Wing) – embriók / % -os aránya termékeny tojásra vetítve
MALFoF%	Torzképződmények, fejlődési rendellenesség tüneteit mutató embriók aránya termékeny tojásra vetítve, %
MALPoF%	Rendellenes fekvésű embriók aránya termékeny tojásra vetítve, %
MAX <sub>x</sub>	x-tengely irányában mért maximum nehézségi gyorsulás érték (m/s <sup>2</sup> )
MAX <sub>y</sub>	y-tengely irányában mért maximum nehézségi gyorsulás érték (m/s <sup>2</sup> )
MAX <sub>z</sub>	z-tengely irányában mért maximum nehézségi gyorsulás érték (m/s <sup>2</sup> )
MIX_YOLK%	szikhártya megrepedése miatt a szik keveredik a tojásfehérjével, %
PIPDof	Külső pattogzott, ki nem kelt csibék aránya termékeny tojásra vetítve
RMS <sub>x,y,z</sub>	x, y, z tengely irányába mért négyzetes középérték
RSS	A tengelyek irányába mért négyzetes középértékek négyzetgyök összege
SPIDES	Tárolás alatti rövid idejű előkeltetés – <b>Short Period of Incubation During Storage</b>
STCKof	A héjhártyához tapadt embriók aránya a termékeny tojásokra vetítve, %
UD/UDoF%	2. típusú rendellenes fekvésű – fej a tojás hegyes pólusában (Upside Down) /% -os aránya termékeny tojásra vetítve

## 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A baromfi-domesztikáció első jelei arra utalnak, hogy mintegy 8000 éve fonódott össze a tyúkfélék sorsa az emberi civilizációval. A történészek szerint az ókori Egyiptomban már 3000 évvel ezelőtt is foglalkoztak mesterséges keltetéssel. Még ma is léteznek olyan technológiával üzemelő keltetők, amelyekkel az ősi egyiptomi hagyományok szerint, mesterségesen, nagyüzemben, eredményesen keltetnek tojásokat (Corti és Vogelaar, 2012) (1. kép).

1. kép: A mesterséges keltetés egyik legősibb módja napi használatban a Fayoumi tyúkfajta tojásainak keltetése során



Forrás: Corti és Vogelaar, 2012

Lenyűgöző, hogy a nagyüzemi, mesterséges tojáskeltetés alapelvei alig változtak az évezredek során.

A tenyésztójas előállítás eredményességét a beólaszott tojótyúkra vetített tenyésztójas, illetve naposcsibe darabszáma határozza meg. Mivel a szaporasági és a hízékonysági mutatók egymással ellentétesek, a hústípusú szülőpárok által megtermelt tenyésztójasok kihozatala gondos tartási, takarmányozási és management eszközöket igényel.

Ez ugyan köztudott, a keltetőtojás kezeléséhez való hozzáállás, meglepő módon, mégsem ezt tükrözi. Ez mélyen gyökeredző probléma, mivel mindenki természetesnek veszi, hogy a tojással alapvetően gondosan bánnak, de a tojásgyűjtésbe, kezelésbe vont munkaerő sokszor nem eléggé motivált, és a kiváltó automatizálás sokszor nem felel meg a kíméletes tojáskezelés kívánalmainak.

Carter már 1970-ben leírta, hogy a tojás összetörik, ha a tojáshéj erőssége kisebb, mint az azt érő hatás. A kérdés, hogy miként mérhető, számszerűsíthető a mechanikai hatás annak érdekében, hogy az ágazat szereplői és a tojásszállító járműveket gyártó, illetve a tojásgyűjtést automatizáló cégek konkrétan lássák a problémát és ne csak elfogadják a tényt, hogy a nehezen megtermelt tenyésztójások egy részét fizikailag és gazdaságossági szempontból is „elfolyatják”.

A baromfikeltetésben eltöltött idő alatt munkám során azt tapasztaltam, hogy milyen megbocsátó a tojás, hiszen a nem megfelelően kezelt, szállított tojás nagy része kikel, az élet utat tör magának.

Munkám során célul tűztem ki, hogy minél kedvezőbb bánásmódot és kezelést tudjak biztosítani a tenyésztójásoknak. Amellett, hogy a hústípusú szülőpárok naposcsibe kibocsájtása az ágazat nyereségének egyik kulcstényezője, állatjóléti indíttatás is vezérelt, hiszen így embriók menthetők meg, és a kedvezőtlen bánásmódból adódó, selejtezésre váró csibék aránya is csökkenthető.

A vizsgálataimat az motiválta, hogy volt alkalmam megvizsgálni ugyanazon nagyszülőpároktól származó tojások kelését Magyarországon és Oroszországban is, és feltűnt a deformált embriók megemelkedett aránya az Oroszországba szállított tojásoknál.

A deformált embriók megjelenésében különböző tényezők játszhatnak közre a deformáltság típusától függően. A kizáródott agyszövet túl magas keltetési hőmérsékletre, a keresztcsőr és a hiányzó szem a forgatás hiányára utalhat, míg a felesleges végtag mechanikai behatást feltételez.

Az erős mechanikai behatásra a csírákorong olyan mértékű sérülése is jellemző, amikor az embrión és a selejt csibén a deformáció jelei egyértelműen felismerhetők. A lehetséges magyarázat a következő: az ovipozíció pillanatában a megtermékenyített csírákorong már minimum 60.000 sejtet tartalmaz (Deeming, 2000), amelyek már némi differenciálódáson mentek keresztül. Ha a mechanikai hatás (például ütődés, rázkódás, esés) hatására a csírákorong meghasad, az információ, ami a kifejlődő szerv, szervrendszer kialakulását meghatározza, már a hasadás mindkét oldalán megtalálható. Így lehetséges a dupla fej, dupla gerincoszlop vagy a normálisnál több végtag (a legtöbb esetben láb) kialakulása.

A probléma feltárására keltetős specialistát hívtam segítségül Dr. Steve Tullett személyében, aki szerint - ami egyelőre csak feltételezés - összefüggés lehet az adatrögzítő eszközökkel kimutatható mechanikai hatások mértéke és a deformált embriók, valamint a deformált csibék megjelenése között.

Vizsgálataimmal és kísérleteimmal ezt a teóriát szeretném bizonyítani, miközben arra keresem a választ, hogy mi az a maximális mechanikai hatás, amit a csírákorong károsodás nélkül még elvisel.

A munkám során a mechanikai sokkot rögzítő eszközökkel mért adatok feldolgozásával, a bújótálcán maradt keltetői hulladék (befulladt, elhalt embrió) tojástöréses vizsgálatával, valamint a kikelt naposcsibe

minőségével foglalkoztam. Mivel gyakorlati szakembernek tartom magam, számos gyakorlati megfigyelésből eredő következtetés is szerepel a dolgozatban.

A vizsgálatok hosszabb távú célja olyan gyakorlati ajánlások kidolgozása, amelyek figyelembevételével a mechanikai hatásból eredő tenyésztójás és embrionális veszteség minimalizálható, és így az ágazat eredményessége fokozható.

A tojásszállítást és egyéb mechanikai hatásokat – tojásgyűjtés, tojáskezelés – az étkezési tojásra vonatkozóan vizsgálták széles körben. Ezek a vizsgálatok főként arra vonatkoztak, hogy a tojánhéj az elkerülhetetlen mechanikai hatások ellenére sértetlen maradjon és ezen keresztül a tojás minősége ne változzon, mert az az étkezési tojás értékét nagymértékben befolyásolja.

A keltető tojások tekintetében szintén ez a legfőbb, de nem az egyetlen szempont. Mivel a keltető tojások értékesebbek, a mechanikai tényezők okozta minőségromlás még nagyobb gazdasági veszteséggel járhat.

A másik fő szempont a mechanikai hatások kelésre, embriókra gyakorolt negatív befolyása. Ennek az ismeretnek a gyökerei egészen az 1800-as évek elejére nyúlnak vissza, Etienne Geoffroy Saint-Hilaire (1820) nevű francia, evolucionista tudósig, aki mechanikai behatással szándékosan állított elő rendellenes fejlődésű embriókat, torzképződményeket, amivel törzsfejlődési elméletét igyekezett alátámasztani.

Érdekes módon, Magyarországon a vadőrök körében is köztudott tény volt, hogy a kikaszált fogolyfészekből begyűjtött fogolytojásokat fűbe csomagolva, a szatyrot kézben tartva kell szállítani, így óvva a rázástól,

mert a biciklikormányra akasztott szatyorban szállított tojás jégzsínórja könnyen megszakadhat (Studinka, 1977).

Bogenfürst Ferenc (2000) Keltetés című könyvében kitér arra, hogy a tenyésztojásokat a szállítás során óvni kell a túlzott rázkódástól és ingástól. A technika fejlődése lehetővé tette, hogy a mechanikai hatások egy részét, az ezredforduló óta, különböző adatrögzítőkkal nyomon tudjuk követni és az így összegyűjtött adatokat elemezni tudjuk. Már a mechanikai hatást és vibrációt is mérő adatrögzítők mindenki számára hozzáférhetőek, ennek ellenére kevés szakirodalom áll rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy milyen mértékű behatásnál számíthatunk a keltethetőség jelentős csökkenésével.

Munkám során az adatrögzítő loggerek használhatóságát és a mért adatok közti korrelációt is megvizsgáltam.

A mechanikai hatás kísérleti modellezése adta kihívás már az 1900-as évek elején is fejtörést okozott, mivel az ismételhetőség, és lehetőség szerint a mechanikai hatás pontos ismerete előfeltétele a tudományos eredmények alátámasztásának.

## 1.1. Az értekezés célkitűzései

Az előzmények ismeretében az alábbi célkitűzéseket fogalmaztuk meg:

1. Az eddig hiányzó határértékek megállapítása, hogy milyen mechanikai hatás felett számolhatunk keléscsökkenéssel.
2. A mechanikai hatást modellező gép alkalmasságának vizsgálata, mivel a tojásszállítási kísérletek és vizsgálatok akadályja, hogy szinte lehetetlen kétszer ugyanolyan vezetési stílussal és sebességgel végig menni ugyanazon az útvonalon. Ennek használata lehetővé teszi mind az ismételhetséget, mind az ismert mértékű mechanikai hatás provokálását és pontos leírását.
3. A gyakorlatban széles körben használt szállító- és csomagolóanyagok és a mechanikai hatás együttes befolyása a keltethetőségre.
4. A különböző genetikai háttérű vonalak érzékenységének vizsgálata a különböző mechanikai hatásokra.
5. A 18. napig előkeltett tojásokra gyakorolt mechanikai hatás vizsgálata. Mivel a gyakorlatban egyre jobban elterjed az istállóban történő utókeltetés (X-rail, Patio, one2born rendszerekben), amely során az előkeltetett tojásokat műanyag- vagy papírtálcán szállítják a nevelés helyszínére.
6. A tárolás alatti rövid idejű előzetes keltetés (SPIDES) ellensúlyozza-e a tojásokat ért mechanikai hatás negatív következményét.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. A mechanikai hatás és a tojáshéj

**„A tojás összetörik, ha tojáshéj erőssége kisebb, mint az azt érő hatás”**

**(Carter, 1970)**

Carter már 1970-ben leírta, hogy a tojás összetörik, ha tojáshéj erőssége kisebb, mint az azt érő hatás. Munkájában hangsúlyozta, hogy a tojásgyűjtő rendszerekben az esési magasságokat csökkenteni kell, és a tojások ütközése a tojásgyűjtő szalagon mérsékelhető a szalag megfelelő szögének beállításával, illetve a becsapódási, ütközési pontok rugalmas anyaggal történő bevonásával. Általában véve pedig a mechanikai hatások gyakoriságát és erősségét csökkenteni szükséges. Carter munkája alapvető és mégis elhanyagolt, mivel a mai tapasztalatok alapján ez amolyan „józan paraszti ész” bölcselletté vált, amit mindenki ismer, de senki sem fordít rá figyelmet.

Nem megfelelő módon az árutojás termelésben ezek a vizsgálatok az alternatív tartási rendszerek bevezetésével újra előtérbe kerültek.

Mertens és munkatársai (2006) az árutojás útját vizsgálták különböző tojótechnológiai tartási rendszerekben (hagyományos és feljavított ketrec, madárház, szabadtartás). A technológiai folyamat több pontján megvizsgálták a tojásokat törést, hajszáltrepedést keresve. A hagyományos és a feljavított ketreces tartásban volt a legmagasabb a törött tojások aránya már rögtön a megtojást követően (6,7; 10,7 %), szemben a madárházzal és a ketreces tartással (1,9 %). A folyamat során a válogatás és csomagolás

volt a következő kritikus pont tojássérülés szempontjából (1,5 és 2,6 %), míg a szállítás 0,16 és 2,6 % közötti sérült tojást eredményezett.

Az árutojás héjsérülésének főbb gazdasági kártétele, hogy nem értékesíthető első osztályú tojásként, ezen felül a héjfolytonossági hiány jobban ki van téve bakteriális fertőzésnek, romlanak mind a belső, mind a külső minőségi tulajdonságok.

Pupos és munkatársaik könyvükben (2013) leírták, hogy a „selejt” tojás arányának függvényében a fajlagos termelési érték nő, mivel az értékesíthető tojások mennyisége nagyobb mértékben csökken, mint az összes termelési érték.

Így folyamatosan csökkenő fajlagos jövedelem realizálható (Szöllösi és munkatársai, 2014). Azt is megállapították, hogy a „B” osztályú tojások aránya nő és ezzel az egy tojásra eső fajlagos költség is. Ugyan munkájukban főként a tojáshéj szilárdság szempontjából vizsgálták a kérdést.

Fontos megemlíteni, hogy ugyanakkor Ernst és Johnston már 1977-ben felhívták a figyelmet az automatizálás elterjedése során felmerült problémákra. Munkájukban automata tojásgyűjtő szalagok, tojásmosó- és csomagoló berendezések által okozott töréseket hasonlította össze.

Munkájuk során hangsúlyt fektettek arra, hogy a tojáshéjon lévő különböző törésképet összefüggésbe hozták azzal, hogy mikor tört össze a tojás. Lámpázással az alábbi kategóriákat különböztették meg: törött, lámpatörött (egyenes vonal), ütközéses törött (a szalagon egymáshoz ütköző tojások), ketrectörött és karomvágott.

Nagyon fontos és sokszor elhanyagolt tényező annak megállapítása, hogy ténylegesen mi okozta a tojástörést. A tojások törésképéből ugyanis egyértelműen megállapítható a tojástörés oka.

2. kép: Lámpatörött tojások (Forrás: saját fotók)



3. kép: Ütközéses törött (bal), karomvágott (jobb) tojások



Forrás: saját fotó

Vizsgálatukban a legmagasabb mértékű a lámpatörött (2,72 %) és ütközés miatt törött tojások (1,88%) aránya volt. Azt állapították meg, hogy a mechanikai tojásgyűjtő egység, az esetleges mosógép és a csomagolás mintegy megduplázza a sérült tojások arányát, azokhoz a törött tojásokhoz

képezt, amit közvetlenül a megtojás után, a ketrecek előtt, a szalagról gyűjtöttek.

Számtalan esetben a tenyésztojás már a fészekben, vagy az egyre nagyobb körben elterjedt automatizált tojásgyűjtés során szenved olyan behatást, ami a tojáshéj törését vagy hajszáltrepedését okozza. A tojáshéj nem minden állásában egyformán áll ellen a fizikai hatásnak. Nedomová és munkatársai (2009) kísérletükben lézer vibrométert (POLITEC CLV-2000) használtak, hogy a tojáson kiváltott akusztikus „reakciót” mérjék. A tojásokat különböző pozícióba (hegyes fele felfelé, tompa vége felfelé és oldalt fektetve) helyezték egy poliuretán talapzatra, majd egy 6 mm átmérőjű rúddal 20 mm/perc sebességgel lesújtottak rá. Azért különösen érdekes ez a vizsgálat dolgozatomban szempontjából, mert megállapították, hogy a behatás mértéke nagymértékben függ a becsapódás erejétől (F/N/), amit jelentősen befolyásol a megtett út (mm) és az, hogy a becsapódás melyik területen éri a tojást. Kimutatták, hogy a sérülést okozó, legnagyobb törőerőt a tojás egyenlítőjén kell kifejteni, majd a hegyes és csak azt követően a tompa felén.

A becsapódás erejére és helyére felállított összefüggésük alapvető és gondolatébresztő volt számomra, hiszen az automata rendszerekben a tojások különböző pontjukon ütköznek.

## **2.2. A szállítás hatása a tojásminőségre**

Nethercote és munkatársai már 1974-ben kijelentették, hogy a tojásszállítás sikere számos tényezőtől függ. Meghatározza és befolyásolja a szállítójármű felfüggesztése, a forgalom az utakon, a szállítmány elhelyezkedése a hátsó tengelyhez viszonyítva, a sofőr vezetési stílusa, a rakodók kíméletessége, és a légköri viszonyok (főleg a páratartalom) is.

Kísérletükben 12 eltérő csomagolóanyagot próbáltak ki különböző rakodási technikával és külső csomagolással. A tesztek során a mechanikai hatást különböző módon modellezték: Conbur lejtő tesztkészülékkel (ez a berendezés ferdén fenntartja a tároló dobozt, majd megadott távolságokról nekiengedi egy falnak) a dobozokat az aljukra vagy élükre ejtették különböző magasságokról. A károsodás mértékét a hajszálrepedt, repedt, törött és mozgó légkamrával rendelkező tojások arányából határozták meg. A vibrációs teszt során 45,5 kg-os súlyt helyeztek a tojásokra, hogy azt modellezzék, mintha a rakomány alján lévő tojásokat szállítanának. Munkájukból a leghasznosabb információ az, hogy a kötésben rakott tojásos dobozok jobban ellenállnak a behatásoknak, a csomagolóanyag kialakítása pedig fontosabb, mint a csomagolás anyaga.

Anderson és munkatársai (1969) azt állapították meg, hogy a szállítás során a dobozok alján és a tálca sarkán lévő tojások gyakrabban sérülnek. Ez a megállapítás megegyezik a gyakorlatban tapasztaltakkal, különösen akkor, ha nem megfelelő méretű raklapot használnak, és a dobozok lelőgnak a raklapról.

4. kép: Gondatlanul raklapra helyezett tojásdobozok (Forrás: saját fotó)



Berardinelli és munkatársai (2003b) kísérletükben a vibrációs asztalon modellezéssel tesztelték a vibráció hatását a tojás különböző belső paramétereire, a Haugh egységre és a szikmembrán ellenálló képességére. Első lépésként kimérték az állandó spektrális teljesítménysűrűséget (PSD) üzemi körülmények között, majd elkészítették a vibrációs asztal modelljét, amely képes egész bedobozolt tojásoszlopot az üzemi körülmények között megtapasztalt hatásnak kitenni. Átfogó felmérést készítettek különböző szállítójárművekről, ami kiterjedt a tengelynyomás, keréknyomás mérésére, a jármű rugózásának típusára. Piezo-elektromos gyorsulásmérőt helyeztek el a gépjármű padozatának több pontján az adatgyűjtéshez. (A piezoelektromos gyorsulásérzékelőkben a mechanikai erő hatására a kristály felületei között elektromos feszültség keletkezik, ami a gerjesztő rezgéssel arányos elektromos jelet ad)

Így 5-80 Hz közötti vibrációs hatást mértek, attól függően, hogy hol helyezkedett el a mérőeszköz a rakományban, milyen sebességgel történt a szállítás és milyenek voltak az útviszonyok. Hasznos megfigyelés volt, hogy a szállítójármű hátsó részén több mint kétszeres értéket mértek, valamint az is, hogy az oszlop tetején álló dobozokon mérték a legmagasabb vibrációt. Vibrációs asztalon kapott eredményeik szerint a Haugh egység szignifikáns csökkenést mutatott a kontrollhoz képest az oszlop tetején álló mintában, ahol a legmagasabb PSD értékeket mérték. Eltéréseket figyeltek meg a szikmembrán ellenálló képességében is, amikor különböző vibrációs profilnak tették ki.

Berardinelli és munkatársai (2003a) a szinuszos vibráció hatását vizsgálták a tojás belső paramétereire. Az alkalmazott vibrációs hatás állandó 0,5 g RMS (a mért értékek négyzetes középértéke) mértékű volt lineárisan

emelkedő vibrációs sávok között (5-20, 20-35, 35-50, 50-65, 65-80 Hz). Szignifikáns, 23 %-os csökkenést tapasztaltak a Haugh egységben 50-65 Hz között kezelt tojások és a kontroll között, de nem találtak eltérést a szikhártya erősségben. A kísérlet ismétlésében a kezelési sávokat átrendezték (5-10, 10-15, 15-20, 50-55, 55-60, 60-65 Hz), hogy pontosabban meg tudják határozni a káros határsávot. 50-55 és 60-65 Hz sávban 44 % csökkenést tapasztaltak a Haugh egységben, a szikhártya erősségének pedig 11-13 %-os csökkenését mutatták ki 60-65, illetve 50-55 Hz-en.

Ezen kísérletek azért voltak fontosak számomra, mert egyrészt ráébredtem, hogy szükség van egy modellező készülékre, amivel a közölt hatások a kísérlet szempontjából a kívánt szinten kivitelezhetők és igény szerint megismételhetők. Másrészt kérdés volt az is, vajon a szállítás tovább csökkenti-e a szikhártya erősségét, ami a tárolással amúgy is csökken.

Nazareno és munkatársai (2013) Braziliában, eltérő útviszonyok (földút és aszfalt) között vizsgálták a szállítás hatását különböző életkorú állományok által termelt és különböző tárolási idejű tenyésztojásokra. Azt figyelték meg, hogy az idős és középidős állományok tojásai nagyobb törésarányt mutattak, amit a termelésben eltöltött idővel vékonyodó tojáshéjnak tulajdonítottak. Megfigyeléseik alatt átlagosan 2,1 % keltetőtojást veszítettek törés miatt, amivel utaltak arra, hogy ez jelentős gazdasági veszteséget jelenthet nagy mennyiségű tojás szállításakor, hiszen a kísérletükben felhasznált, csupán 4320 db tojás esetén is – a brazil tenyésztojás árak mellett – 20 EUR kár keletkezett.

HOBO loggereket felhelyezve, horizontális irányban mérték a legmagasabb vibrációt és mechanikai hatást. Meghökkenítő módon, az aszfalt úton történő szállításkor mérték a legnagyobb RSS (vibráció során minden irányba mért négyzetes középértékek – RMS – négyzetek összegének négyzetgyöke) értéket ( $13,1 \text{ m/s}^2$ ), a földúton pedig a legalacsonyabbat ( $10,4 \text{ m/s}^2$ ). A különböző irányokban mért gyorsulásból számított RMS (a mért értékek négyzetes középértéke) értékekből kikövetkeztették, hogy ez annak tulajdonítható, hogy aszfalt úton a sofőr nagyobb sebességgel közlekedik, ebből adódóan többször erőteljesen fékez. Ez magas RMSy -t (y tengely irányban mért értékek négyzetes középértéke) eredményez, ami megemeli a vibrációs szintet és ezért magasabb a törött tojások száma.

Az aszfalt úton történő szállítás alatti magasabb törött tojás arány annak is tulajdonítható, hogy magasabb volt a sokkok (mechanikai behatások) száma az út során.

Ez megegyezik Randall és munkatársai (1993) és Nazareno és munkatársai (2013) által leírtakkal, akik szerint, ha szállítás alatt mérsékeljük a sokkok számát, gyakoriságát, jobb szállítási körülményeket biztosítunk a rakomány részére.

Megfigyeléseim során megkérdőjelezem, hogy pontos-e a fogalom a behatások gyakoriságáról, hiszen az adatrögzítő loggerek olyan gyakorisággal rögzítenek, ahogy azok beállításra kerültek. A tojásszállítás ideje pedig változhat az útviszonyoktól (közlekedési torlódás, technikai szünet). Ez a hiba kiküszöbölhető, ha a gyakoriság eloszlását határozzuk meg százalékosan, tartományonként (lásd később).

Itt meg kell említeni, hogy számos adat korrekcióra szorult az említett hiba miatt, mert amennyiben a mechanikai behatások darabszámát kívánjuk összehasonlítani, az adatrögzítő loggerek mérési gyakoriságát egyformán kell beállítani (nem összehasonlítható, ha az egyik logger egy másodpercenként, a másik meg percenként mér).

### **2.3. A szállítótálca, mint tényező**

Seydim és Dawson (1999) arra voltak kíváncsiak, hogy milyen mértékben védik meg a különböző csomagolóanyagok a tojásokat. Habosított polisztirol- vagy papírtálcára, majd műanyag- illetve többretegű papírdobozba helyezték a tojásokat, amelyeket elektrohidraulikus tesztgéppel vibrációs tesztnak vetettek alá 15, 75 vagy 180 percig. A tojásokat 1-200 Hz frekvencia tartományban kezelték. A vibrációs teszt a vibráció frekvenciáján és minden egyes vibrációkor kiváltott gravitációs gyorsuláson (g) alapult, amit spektrális teljesítménysűrűség – PSD táblában ábrázoltak (ASTM, 1994). A vibrációs frekvencia mértékét és a gravitációs gyorsulást az üzemi körülmények között tapasztalt szállításoknak megfelelően változtatták. A szállítójármű szimulációjához a frekvenciatartományt és az összes gravitációs gyorsulást standardizálták, a gyakorisági és a megbízhatósági szintnek megfelelően. Különböző idejű behatást alkalmaztak, majd meghatározták a törött és repedt héjú tojások arányát. Seydim és Dawson (1999) kísérletei arra sarkalltak, hogy a különböző anyagból készült tálcák hatását vizsgáljam. Ők is azt a következtetést vonták le Anderson és munkatársaihoz (1969) hasonlóan, hogy a csomagolás alján lévő tojások jobban károsodtak, mint az oszlop tetején vagy az oldalán. Kísérletükben a habosított polisztirol tálcá

műanyag dobozba helyezve okozta a legmagasabb törést. A törött tojások aránya a hatás hosszával nőtt.

A tálca által a tojásnak átadott erőt befolyásolja, hogy a tojást mekkora felületen éri a nyomás:

$$P = F/A, \text{ ahol:}$$

P – nyomás

F - erő

A – felület

Tehát a tojásfelületre kifejtett nyomás az, ami végső soron a héj törését, hajszáltrepedését okozhatja. Azonos erőhatás esetén a tojáshéjra gyakorolt nyomás kisebb, ha a felület nagyobb.

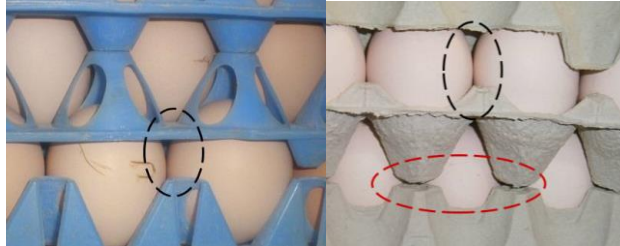
A következőkben számos gyakorlati tapasztalat és probléma is bemutatásra kerül, mivel célul tűztem ki az elfogadható határértékek kidolgozását a tojástörések mérséklésére. A bevezető kísérletsorozat azonban rádöbbenett, hogy a mechanikai hatást nem csak a vibráció okozhatja, hanem más tényezők is, és ezek ugyanúgy a törött tojások arányát emelik.

Itt három fontos dolgot kell kiemelni:

- 1.) A tálca kehelyméretének alkalmazkodni kell a tojás méretéhez. Ezt támasztja alá a M-L műanyag tojástálca nagyobb kehelyméretéhez tartozó nagyobb felület, ami eloszlatja a tojásra nehezedő erőt. Mivel egyrészt a nagyobb tömegű tojások héja vékonyabb, másrészt a nagyobb méretű tojások könnyebben összetörhetnek (Bennett, 1992) akár azért is, mert összeérhetnek a tálcákon (5. kép, bal és jobb, fekete szaggatott körvonal) egyedi törésképet mutatnak a szállítást, vagy a tálcák mozgatását követően. Azt is ki kell emelni, hogy nem megfelelő

kehelyméret esetén a tálcák tartóoszlopai nem veszik át a tojásra nehezedő nyomás terhét (5. kép, jobb, piros szaggatott körvonal).

5. kép: A nagy tömegű tojások a tálcán összeérnek



Forrás: saját fotók

6. kép: A tálcán összeérő tojások törésképe



Forrás: saját fotók

2.) Sokszor a tojások károsodása nem a rossz tálca miatt, hanem az alsó sorokra nehezedő erő miatt alakul ki.

7. kép: Túl magasan egymásra rakott tojások miatt a nagy tömeg összetöri az alsó tojásokat Forrás: saját fotók



Fentiek oka Newton 2. törvényével magyarázható:  $F=ma$ . Itt a nehézségi gyorsulási állandó, azaz  $a=9,81 \text{ m/s}^2$ , tehát a változó a tömeg ( $m$ ), ami így egyenesen arányos a behatási erővel.

Ahogy azt Anderson és munkatársai (1969) és Nethercote és munkatársai (1974) is megállapították, a legalsó tálcason a legmagasabb a törött tojások aránya. Ez részben orvosolható az önhordó tálcák (29. kép) vagy a tojásméretnek megfelelő tálcák használatával, ahol a tálcák oszlopai között megoszlik a ránehezedő tömeg (5. kép, piros szaggatott ellipszis).

Bennett (1992) vizsgálatában bebizonyította, hogy a nagyobb tömegű tojások törésaránya nagyobb, ami annak tulajdonítható, hogy a tyúk közel azonos mennyiségű  $\text{CaCO}_3$ -ot épít be a tojáshéjba a tojásképződés során. Nagyobb tojástömeg esetén ugyanaz a  $\text{CaCO}_3$  mennyiség nagyobb felületen oszlik el, ami a tojáshéj vékonyodását eredményezi.

Ezt támasztja alá Altuntas és munkatársai (2008) megfigyelései, amely során kimutatták, hogy kisebb mértékű behatás is elegendő a nagyobb tömegű tojások héjának töréséhez.

Nazareno és munkatársai (2014) is megfigyelték a gyakorlatban, hogy a törött tenyésztójások aránya korcsoportonként eltér. A középidős

állomány tojásainak 2,2 %-a, az idős állományénak 3,3 %-a tört össze vagy sérült meg a szállítás közben, szemben a fiatal állomány 0,8 % -ával.

8. kép: Beiktatott tömegeloszló felületek (elválasztók) alkalmazása javítja a tömegeloszlást (Forrás: saját fotók)



3.) Egyes előkeltetőtálca-típusok nem alkalmasak keltetőtálca beszállításra, mert a felület, amivel a tojás érintkezik, kicsi (A), azaz azonos erő (F) mellett a kifejtett nyomás (P) nagyobb.

9. kép: Különböző gyártók előkeltetőtálca-típusai 1.



10. kép: Különböző gyártók előkeltetőtálca-típusai 2.



Forrás: saját fotók

11. kép: Nem megfelelő tálca és szállítás eredménye, tipikus „döccenéses” baleset



Forrás: saját fotó

A csomagolóanyag típusa is fontos szerepet játszik abban, hogy azonos mértékű behatás esetén mekkora erő adódik át a tojásnak, azaz mennyi energiát nyel el az ütközésből rugalmasságának köszönhetően.

Ha áttekintjük a mechanikai erőhatás (sokk) fizikáját az alábbi összefüggések alapján, kiindulva Newton második törvényéből:

$$F = ma$$

ahol,  $F$  = erő,  $m$  = tömeg,  $a$  = gyorsulás

Fontos tisztázni, hogy a mechanikai sokk kártételét nem maga a gyorsulás okozza, hanem az esteleges ütközés által kiváltott hirtelen lassulás.

Ütközés során a tárgy – esetünkben a tojás – sebessége 0-ra csökken nagyon rövid időn belül, tehát  $\Delta v \approx v$  az ütközést megelőzően.

A  $d$  távolságon a megállásig egyenletesen lassuló test átlagsebessége  $v/2$ , tehát a megállásig eltelt ütközési idő:  $2d/v$ . Így lassulásra az

$$a = v^2/2d$$

egyenlet írható fel.

ahol,  $v$  = sebesség,  $d$  = távolság

A levezetéshez Tasnádi és munkatársai 1994-ben írt könyvének az ütközéses balesetekről szóló fejezetét alkalmaztam. Ha az autók töréstartományát vesszük összehasonlításul, ott az ún. gyűrődési zóna kialakítása arra hivatott, hogy az ütközés energiáját elnyelje azáltal, hogy az ütközés okozta megállási utat megnövelje, ezért az ütközésnek nagyon fontos jellemzője, hogy mennyire rugalmas, akárcsak a tojástálcák esetében-

A rugalmasság mértékeként a  $k$ - ütközési együtthatót használják.

Ha két részre bontjuk az ütközési folyamatot:

1. a tojás hirtelen megállásig

$$\int_0^{\tau} F dt = -mv_0$$

ahol  $F$  = a kifejtett erő az ütközéskor,  $\tau$  = a mozgás e szakaszának időtartama,  $m$  = tömeg,  $v_0$  = kezdeti sebesség, az ütközés előtt.

2. az ütközés pillanatában a tojás visszapattan és ellentétes impulzushoz jut:

$$\int_{\tau}^{t_0} F dt = mv$$

ahol  $t^0$  = az ütközés teljes időtartama,  $v$  = visszapattanás sebessége.

A folyamat rugalmassága a benyomódást és visszapattanást okozó erőlködés  $k$  arányával jellemezhető:

$$k = \frac{\int_{\tau}^{t_0} F dt}{\int_0^{\tau} F dt} = -\frac{v}{v_0}$$

ahol, tökéletesen rugalmas ütközés esetén  $k=1$ , tökéletesen rugalmatlan ütközés esetén, egyáltalán nincs visszapattanás, akkor a második szakasz nem létezik, ott  $k=0$ .

Az ütközési szám segítségével kifejezhető az ütközés során disszipált energiahányad:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \left( \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} m v^2 \right) : \frac{1}{2} m v_0^2 = 1 - k^2$$

Tehát az ütközés során elnyelt energiahányadot leginkább befolyásolja az ütközésben részt vevő tárgyak rugalmassága és az ütközés sebessége.

A merevség ellenőrzésére kézi Kahl tesztet használtam. A vártnak megfelelően a papírtálca rendelkezik legnagyobb elaszticitással, míg az előkeltető tálca a legmerevebb. A műanyag 30-as tálcák közel azonos elaszticitásúak, de az előkeltető tálcánál kb. 10 %-kal nagyobb rugalmasságot mutattak.

Esetünkben, a nagyobb elaszticitású papírtálca kismértékű deformálódással növeli az ütközésig megtett utat, tehát elnyeli az ütközési energia egy részét.

Altuntas és munkatársai (2008) kísérleteik során a különböző tömegű tojásokat felületük több pontján tették ki különböző Newton erőjű behatásnak. Kimutatták, hogy kisebb mértékű behatás is elegendő a nagyobb tömegű tojások héjának töréséhez. Megállapították, hogy a tojáshéj betöréséhez szükséges erő a z tengelyen csökkent, ahogy a tojás tömege közepesről (52 g) nagy tömegűre (72 g) nőtt. Ezt a csomagolóanyagok (tálcák) tervezésénél és hatékony felhasználásánál figyelembe kell venni.

#### **2.4. A mechanikai hatás befolyása a keltethetőségre és az embrió fejlődésére**

Köztudott, hogy a szállítás alatti rázkódás csökkenti (negatívan befolyásolja) a keltethetőséget.

Érdekes módon ez a megfigyelés a teratológiai tanulmányokban gyökerezik, mivel a csirkeembrió már a 19. század elején a tudósok kedvelt vizsgálati alanya volt, hiszen az anyai szervezet befolyása nélkül tanulmányozhatták az embrionális fejlődést és alkalmazhattak a csirkeembrión olyan beavatkozásokat, aminek hatását aztán nyomon követhették.

A modern kísérleti teratológia egyik szülőatyja a 19. század elején Saint-Hilaire (1820), aki torz csirkeembriókat hozott létre úgy, hogy különböző környezeti hatásoknak – közte fizikai traumának: rázás, szúrás, megfordítás – és toxikus anyagoknak tette ki a tojásokat. Érdeklődése az

így létrehozott „szörnyek” iránt abból eredt, hogy mélyen hitte, ez a kulcs a fajok mutációjához, a szervezetek átalakulása ily módon gyorsan megtörténik, nem apróbb lépésekben. Munkásságát annak szentelte, hogy alátámassza feltételezését.

A 19. század végén Dareste (1891) végzett vizsgálatokat csirkeembriókkal és a rendellenes embriók széles skáláját hozta létre káros ingerekkel, fizikai behatással és hő-sokkal a megtermékenyülést követő különböző időszakokban. Ő mondta ki azt is, hogy a behatás időzítése lényegesebb, mint maga a hatás típusa, mert az határozza meg, hogy milyen típusú torz embrió keletkezik.

Amiért Geoffroy Saint-Hilaire (1820) és Dareste (1891) munkája fontos volt számomra a disszertáció elkészítéséhez az az, hogy ugyanazon eredetű tojások magasabb arányú rendellenes fejlődésű, torz, selejt csibét (13. kép) mutattak Oroszországban (több napos szállítást követően), ami vizsgálataim egyik kiindulási alapja volt.

12.kép: Dareste (1891) rajzai deformált embriókról



Forrás: Dareste (1891)

13. kép: Hasonló megjelenésű, rendellenes embriókról készült fotók (Oroszország, 2012)



Forrás: saját fotó

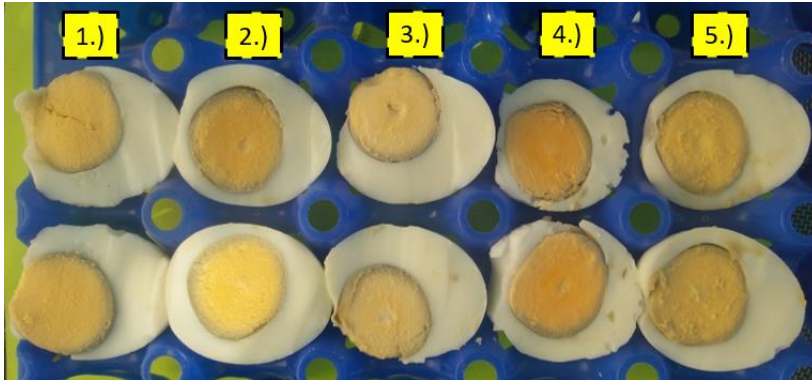
Landauer és Baumann (1943) ugyanakkor azt a megállapítást tette, ha a szállítást követően a tojásokat hagyjuk 48 órát pihenni ahelyett, hogy azonnal megkezdnék a keltetést, kevesebb rendellenes embrió keletkezik, mint az azonnal gépbe rakott tojások esetében, azonban tapasztalataim szerint az oroszországi szállítások során ez nem mindig teljesült. Ez volt az a pillanat, amikor megfogalmazódott a feltételezés a mechanikai hatás és a keltetés megindítása között eltelt idő fontosságáról. Ugyan köztudott, hogy pihenés nélkül a tenyésztőtojások keltethetősége csökken (De Lange, 2012), de a torz embriók arányát ez a munka nem említi.

Landauer és Baumann (1943) munkájukban elsősorban a farkatlanság (az összes farokcsigolya, vagy a keresztcsont farki részének egy vagy két csigolyája, a külső farok rész és a mirigyek hiánya) örökletességét vizsgálták és azt tapasztalták, hogy a vonaton szállított tojásokból kelt csibéknél nagyobb gyakorisággal fordul elő ez a jelenség. Kísérletükben két különböző berendezést használtak: egy Kahn kémcsőrázó-elegyítő készüléket, erre erősítettek horizontálisan egy kart, ami tartotta a tojással

teli dobozt. Ez 57 mm elmozdulást biztosított előre-hátra és 216 teljes elmozdulást tett meg percenként. A másik berendezés egy csiszoló gép, ahol egy hajtókart erősítettek a forgó tengelyre, ami függőlegesen fel alá mozogva nekiütődött a tojásokat tartó doboznak. A tengely 43 mm-es utat járt be, és félúton nekiütődve a doboz aljának megemelte, majd hagyta ledöcceni. Így percenként 120 fel-lemozdulást váltottak ki. Az érdekessége ennek a kísérletnek, hogy a különböző berendezésekben a tojások máshogy helyezkedtek el. A kísérletet hegyes felével lefelé és felfelé tálcázott tojásokon is elvégezték. Továbbá, amíg a csiszoló gépnél hosszanti, addig a Kahn kémcsőrázó gépnél a rövid tengely mentén történt az elmozdulás. Legkisebb mértékben akkor fordult elő rendellenesség, amikor a tompa felével lefelé tálcázott tojásokat vertikálisan rázták, azaz a rövid tengelyük mentén, előre-hátra történt az elmozdulás. Ennek oka valószínűleg a légkamra légpárna hatása. Ezt többen vizsgálták. Steinke (1966) és Proudfoot (1969) szerint a minden alkalommal hegyes felével felfelé tálcázott tojások elhelyezkedése a kedvezőbb. Sajnálatos módon ennek nagyüzemi hasznosítására csak megvalósíthatatlan ötletek születtek, és gyakorlati alkalmazása a mai napig nem megoldott.

Az árutojásokkal végrehajtott egyszerű kísérletben a tojásokat 3 hétig tároltam, majd Proudfoot (1969) leírása alapján főzéssel fixáltam a szik helyzetét a tojáson belül.

14. kép: Főzéssel fixált szikék különböző tárolást követően, balról jobbra haladva: 1.) hegyes felével lefelé, 2.) hegyes felével felfelé, 3.) fektetve 4.) heti egy rázás 5.) forgatás naponta 2x.



Forrás: saját fotó

A szik letapadása látszólag megakadályozható a hegyes felével felfelé tárolással, a heti egy rázással és a napi kétszeri forgatással.

Landauer (1943) kísérletében 1, 2 és 3 órán keresztül tette ki a tojásokat a fent említett mechanikai hatásnak, és ő is megállapította, hogy minél hosszabb a behatás ideje, annál nagyobb mértékű a rendellenes embriók előfordulása. Érdekes megfigyelés, hogy a tárolás hossza a mechanikai behatás előtt tovább fokozta a rendellenes embriók előfordulását, akár csak az évszak (tavasz vagy nyár), ami a csírákorong évszaktól (hőmérséklettől) függő, különböző állapotára enged következtetni.

Amikor az említett kísérletben a keltetés megkezdése után alkalmazták a mechanikai ráhatást, azt figyelték meg, hogy a keltetés 12-20 órája között a legnagyobb a rendellenes embriók aránya, de az évszak ennek hatását is megnövelte, ami arra utalhat, hogy a blasztoderma előbb kerülhetett érzékeny állapotba. A mechanikai hatásnak kitett tojásokban a

farkatlanság előfordulása 4-6,6-szor gyakoribb volt, és azokban a kísérleti csoportokban fordult elő legnagyobb arányban, ahol nem pihentették a tojásokat a kezelés és a keltetés között. Ugyanakkor a kelési eredményben nem tapasztalták ennek szignifikánsan jótékony hatását. Ha 3 órán át kezelték a tojásokat majd pihentették, a pihentetés jótékony hatása elenyésző volt. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgált állomány terhelt volt a farkatlanság génjével és a vizsgálatok eredménye alapján nem találtak összefüggést a korai elhalt embriók és a torzképződmények aránya között. Az embrióboncolás során kitértem a farkatlanság tanulmányozásra is, de nem találtam ilyen malformációt egyik kísérleti csoportban sem.

Olkowski és Laarveld (2016) cikkükben az összes torz csirkeembrió tünet együttest (nyitott gerinc és agy; csőr, szem és arckoponya deformációk; szám feletti végtagok; testüregen kívül rekedt belső szervek) a környezeti és/vagy takarmány eredetű tényezőknek tulajdonították. Munkájukban kifejtették, hogy a nagy növekedési erélyre történő szelekció szintén hozzájárulhat a torz embriók megjelenéséhez, mivel genetikailag érzékenyebbek a teratogén hatásokra. Kanadai laboratóriumukban hajtottak végre átfogó vizsgálatot és azt tapasztalták, hogy 2012 -2013 között a ki nem kelt embrióknál 30-50 %-ban fordult elő anatómiai malformáció, ezzel szemben 2003-2006 között 15-30 %, míg az 1930-1950 között végrehajtott ellenőrzéseknél ez mindössze 3-9 % volt.

A rendellenességek közül a nyitott gerincet és az agy degenerációs elváltozásait emelték ki, mint leggyakrabban előforduló torz embrió tünetet, amit különböző vitaminok hiányával (A, E, B12, B6, folsav), illetve az A, D, E vitamin, valamint a szelén toxikusan magas szintjével magyaráztak.

A környezeti károsító tényezők közül a környezetszennyezést, az ivóvíz klórozása után jelenlévő maradványanyagokat és az elektromágneses tereket emelték ki. Hiszen különösen manapság ki vagyunk téve olyan környezetszennyező anyagoknak, mint a PCB-k, dioxinok, nehéz fémek, szénhidrogének, növényvédő szerek, melyek a lég- és vízszennyezésen, valamint az élelmiszer- és takarmány-alapanyagok szennyezésén keresztül hatnak. Aggodalmukat fejezték ki, hogy az embrionális anomáliák előfordulása az emberekben és a vadon élő állatokban is megemelkedett a közelmúltban.

Következtetésként azt vonták le, hogy ezek a megfigyelt anomáliák valamilyen komplex és multifaktoriális tényezők miatt alakultak ki és nem vezethetők vissza egy gén mutációjára.

Itt kell említést tenni a csirkeembriók genetikai kutatásban történő alkalmazásáról, ahol viszont az előző hivatkozások tudósaival ellentétben azokat a géneket keresték, amelyek az arckoponya elváltozásáért és a szám feletti végtagok megjelenésért felelősek.

Young és munkatársai (2000) humán vonalon végzett vizsgálataikban leírták, hogy az úgynevezett Diprosopus (arckoponya duplikáció) egyik oka a megemelkedett Sonic hedgehog (SHH) fehérje genetikailag meghatározott, túlzott termelése lehet, ami az arckoponya kialakulásában játszik szerepet az embrionális fejlődés során. Ezt modellezték csirke- és egérembriókon teratogén vegyületek (retinolsav, növényi eredetű szteránvázis alkaloida, ciklopamin) bejuttatásával. A csibék két csőrrel és egymástól távoluló szemekkel jöttek világra. Ugyanakkor a túl kevés SHH expresszió a szemek összeolvadását (ciklópia) eredményezte.

15. kép: Arckoponya duplikáció (bal kép) és ciklopia (középső, jobb kép) csirkeembriónál



Forrás: saját fotó

Eichele és munkatársai már 1985-ben végzett hasonló kísérletekben vizsgálták a retinolsav hatását csirkeembriók végtagkezdeményeire. Ezekben a vizsgálatokban azonban csak vegyületekkel modellezték a teratogén hatásokat.

Érdekes megjegyezni, hogy az SHH génexpressziójáért is felelős Hox gének felfedezése ugyanannak az 1800-as években működő tudósnek tulajdonítható, akinek nevéhez elsőként fűződik a tojásokra ható mechanikai tényezők megfigyelése (Saint-Hilaire, 1820).

Vandenberg és munkatársai (2012) egyéb állatfajokon (karmosbéka és zebrahal) olyan káros környezetszennyező tényezőket is vizsgáltak, mint a vibráció. Azért, hogy különböző mértékű vibráció (7, 15, 100 Hz), irány (horizontális, vertikális) és a hullámjel típus (szinusz, háromszög, négyszög) különböző kombinációjával érjenek el hatást, hangszóróra kötött jeladót használtak. A karmosbéka embriók a kezelést az egy sejtes állapot és a neuruláció (velőlemez megjelenése) között kapták (egy éjszaka), míg a zebrahalak ugyanilyen hosszú idejű kezelés alatt az egy-

két sejtes állapottól az 5. szomita megjelenéséig jutottak el az egyedfejlődésben.

A szerzők arra következtettek, hogy már alacsonyabb vibrációs szintek a frekvenciától a hullámjel típusától és irányától függően az egyedfejlődés három lépcsőjén is jelentkező (idegcső záródás, bal-jobb differenciálódás, fark morfogenezise), károsító hatással vannak a vizsgált fajokra.

Vandenberg és munkatársai egy korábbi (2011) tanulmányukban már felfigyeltek arra, hogy a 15 Hz-es, szinuszos, vertikális vibráció idegcső rendellenesség előfordulását idézte elő. Az ilyen embriók vagy hiányos idegcső záródást mutattak, ami ebihalakon a két különálló fark kifejlődésében jelentkezik, illetve lerövidült vagy görbe gerincet fejlesztettek; ezek a torzulások gyakran társultak egyéb malformációkkal, mint az arckoponya deformációja és az ödéma. A kísérletekben használt vibráció: 10-30 Hz volt. Munkájukban hangsúlyozták, hogy ellenőrizni szükséges, hogy vajon a vadon élő állatok populációi ki vannak-e téve jelentős mennyiségű, alacsony frekvenciájú vibrációnak.

Ugyan a madarak rendje magasabb rendszertani csoport, de vajon elvethető-e a felvetés, hogy szövettani módosulást okozhat a mechanikai behatás, ha az embrionális csírákorong az EGK XI-XII és a HH3 fázisában van, ami megegyezik az emlősök beágyazódási stádiumával, hiszen Itabashi és munkatársai (2012) emlősök sejtjein sikeresen alkalmaztak mechanikai behatást a mitózis metafázisának kontrollálására.

Besch és munkatársai (1965a) a bioasztronautika területén felmerült kérdésre keresték a választ: hogy hat a földi körülményektől eltérő gyorsulási erő a komplett biológiai rendszerekre? A terv az volt, hogy meteorológiai rakéták kisméretű rakományt magukkal tudnak szállítani

nagy légköri magasságokba. Ez 40 g pozitív és 50 g negatív nehézségi gyorsulást feltételez. Ennek modellezésére végeztek tesztek, hogy információt nyerjenek a gyorsulási erő hatásáról az embriógenézisre. A modellvizsgálatokat tyúk és japánfűrj tojásokkal végezték, melyekhez laborcentrifugát és NOL szabadesés tesztkészüléket használtak. A szabadesés teszt során az ejtési magasság növelésével érték el egyre magasabb negatív nehézségi gyorsulást, azaz becsapódási fékezést. Közel 1 méteres magasságból már 96g érhető el. Kísérletükben megállapították, hogy mechanikai hatások a biológiai rendszerekre eltérő módokon hatnak. A szubakut gyorsulások például a tojások tömegvesztését és a keltethetőség csökkenését eredményezték. A tojások tömegvesztését a sértetlen tojáshéjon és héjhártyán kilépő vízszerű folyadék okozta, amit a tojásfehérjéből kilépő ultrafiltrációnak tulajdonítottak. A hatások mértéke közvetlen összefüggésben áll a behatás időtartamával. Ha nagyobb mértékű, de rövidebb idejű behatásnak tették ki a tojásokat, a csírákorong fejlődése zavartalan volt, annak ellenére, hogy a hatás elegendő volt ahhoz, hogy tojások egy részénél héjtörést eredményezzen. Ez arra utal, hogy a csírákorong rendelkezik egy természetes „lengéscsillapítóval”, és ez védelem a tojás folyadék jellegű tulajdonságainak tulajdonítható. Az sem elhanyagolható, hogy a szövetek rendelkeznek bizonyos rugalmassággal, amíg a hatás-idő intenzitás el nem ér egy bizonyos szintet. Ezen felül az embrió fejlettsége is befolyásolta a hatás mértékét. A 24 órás embrió nem mutatott eltérést a nem keltetett embriótól amikor szubakut gyorsulásnak tették ki, de ahogy haladt előre a kelésben, egyre jobban károsodott a behatás mértékének függvényében. Kísérleteiket tyúk és japánfűrj tojásokkal is elvégezték és arra a megállapításra jutottak, hogy a tojás

mérete is jelentősen befolyásolja a hatás mértékét. Ezt a jelenséget Galilei négyzetes-köbös törvényével magyarázták, azaz a nagyobb felületű testek jobban kitettek a mechanikai hatásoknak, mint a gyorsulásnak.

Ugyan ez jóval nagyobb mechanikai hatás, mint amit saját kísérleteim során alkalmaztam, de az alap fizikai összefüggéseknek jó hasznát vettem, viszont közelében sem voltam az általuk alkalmazott  $940 \text{ m/s}^2$ -nek mechanikai hatásnak.

Besch és munkatársai (1965a) eredményei egy korábbi, hanggal végzett kísérletek eredményeit is igazolták (Goren és Besch, 1963), amikor fehér Leghorn tyúktojásokat és fürjtojásokat tettek ki nagy frekvenciájú hangnak (1.000-10.000 Hz) 15 percen át. Azt figyelték meg, hogy fordított összefüggés áll fenn a tojás mérete és a kezelés mértékének hatása között. Ez alátámasztja a tömeggel kapcsolatban leírt összefüggésünket, hiszen a vibrációra kiváltott nehézségi gyorsulás nagymértékben függ a tömegtől (Newton második törvénye).

Mivel a vibráció is hullám, nem szabad meglepedkezni egy szintén korai munkáról, ahol azt vizsgálták, hogy a hanghullámok a tojásfehérjékre denaturáló hatással vannak-e. Amikor 175 Watt 1200 Hz –en vibráltatták a tojást, az albumin elérte izoelektromos pontját és koagulált (Chambers és Flosdorf, 1936).

Itt kell megemlíteni az úgynevezett SOOS technológiát, aminek során hanghullámoknak teszik ki a tojásokat, hogy az árutójásterelő szülőpárok tojásból több jérce keljen ki (Mcdougal, 2023). Bár nem publikus az általuk használt vibrációs frekvencia, de a kísérletek során mi nem tapasztaltunk semmilyen ivararány eltolódást.

Besch és munkatársai (1965b) a tojásban fellépő morfológiai változásokat vizsgálták szubakut (50-75-100 g) gyorsulási erő hatására. Megfigyelték a szik részecskéinek vándorlását, ami erodáló hatással van a csírákorong sejtjeire, mivel a gyorsulás okozta felhajtó erő a rejtekhelyről (latebra) felkényszerítette a csírákorongot a szik felszínéhez közel. Ez negatív hatással van a keltethetőségre.

16.kép: Korai elhalt embrió, ahol a szikhártya megrepedése miatt a szik keveredik a tojásfehérjével (MIX\_YOLK)



Forrás: saját fotó

Proudfoot (1969) azt vizsgálta, hogy a tojásokat hogyan lehet eredményesen, hosszan tárolni a keltethetőség legkisebb romlása mellett. Főként a tárolás alatti legkedvezőbb tojáspozíció (hegyes felével felfelé, lefelé vagy oldalán fektetve tárolás) és a tárolás alatti forgatás volt a vizsgálatok fő tárgya, de kísérletükbe bevontak kismértékű vibrációs behatást is. A használt kilengés 0.08 cm és 60 Hz volt, aminek a tárolás alatt napi 15 percig tették ki a tojásokat. Ez nem eredményezett a kelésben negatív hatást, amit annak tulajdonítottak, hogy a mechanikai hatás nem volt kimondottan agresszív. Ugyanakkor utaltak arra, hogy a hegye felével felfelé tárolás jótékony hatása feltételezhetően annak tulajdonítható, hogy

ebben a pozícióban a szik nagyobb eséllyel marad centralizált helyzetben és a csírákorong közelebb marad a tojás egyenlítőjéhez.

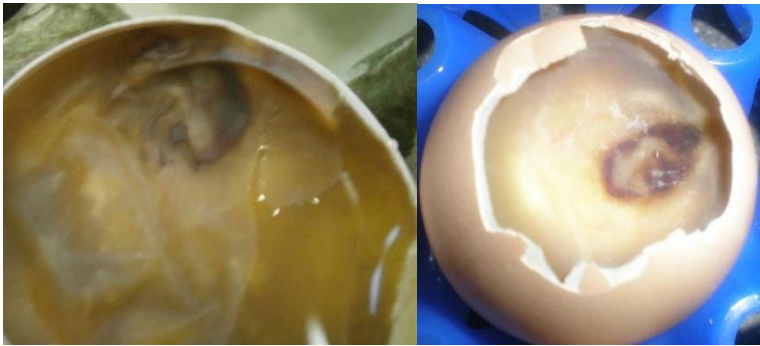
Elmés és nagyon egyszerű képsorral mutatta be, hogy mi történik a szikkel különböző tárolási pozíciókban, különböző hosszúságú tárolás alatt. Ugyanis a különböző pozícióban tárolt tojásokat megfőzték, majd, amikor felvágták, pontos képet kaphattak a szik elhelyezkedéséről 1-2-3 illetve 4 hét tárolás után (ezt a technikát másoltam, némi módosítással - 33. kép). Úgy látszik a képeken, mintha már 2 hét tárolás után a szik a héjhártyához tapadt volna. Proudfoot (1969) azt állapította meg a képekből, hogy a csírákorongot hordozó szik akkor marad leginkább centralizált pozícióban, ha hegyes felével felfelé tárolta és csak közvetlenül keltetés előtt fordította helyes pozícióba a tojást.

Mivel az előkeltetett tojás szikje könnyebben úszik a tojáson belül, hamarabb felúszik a héjhártyához, ha keltetés előtt hegyes felével lefelé tárolták. Azt is megfigyelték, hogy hegyes felével lefelé pozícióban a szik hajlamos az elfordulásra és az elmozdulásra a tojás tompa vége felé és ezzel együtt a csírákorong pozíciója a tojáson belül összefüggésben áll a hegyes felével lefelé történő tárolással. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy hegyes felével lefelé tárolásnak az embrió életképességére gyakorolt negatív hatása feltételezhetően annak tulajdonítható, hogy az embrió hozzátapadhat a héjhártyához, vagy az embriók rendellenes fekvését okozza, ami csökkenti a tojásfehérje szigetelő, védő hatását.

Ezt támasztja alá Deeming (2000) is egy átfogó és gyakorlatias tojástárolásról szóló cikkben, ahol kifejti, hogy a számos ábrázolással ellentétben a szik nem a tojás középpontjában helyezkedik el, hanem a tojás felső részében, a héjhártya közelében.

A tojásfehérje és a szikhártya a csírákorong felett helyeződik el, ezért első védelmi vonalnak tekinthetők. A probléma akkor fordul elő, amikor a szikhártya közvetlen érintkezésbe kerül a belső héjhártyával, és – különösen dehidratálódott tojások esetében - össze is tapadhat vele. Tárolás alatt a sziket körülvevő fehérjeréteg állaga megváltozik, a védőréteg eltűnik, ami lehetővé teszi a szikhártya és a héjhártya közvetlen érintkezését.

#### 17. kép Belső héjhártyához tapadt csirkeembriók



Forrás: saját fotó

A dehidratáció és a tárolás összefüggését Deeming (2000) azzal magyarázza, hogy a tojás vízvesztése a megtojás pillanatában megkezdődik. Minél hosszabb ideig tároljuk a tojást, a sziket körülvevő tojásfehérje elvékonyodik a CO<sub>2</sub> távozásából adódó pH változás és lúgos irányba tolódás miatt, ami további vízvesztést vált ki.

Forgatással egyrészt szikhártya és a héjhártya összetapadása megelőzhető, másrészt egyöntetűbb és tápanyagban dúsabb a környezet a csírákorong körül. Nem szabad megfeledkezni ugyanis arról, hogy az embrió már ebben az állapotban is nagyon kis mértékben ugyan, de diffúz

tápanyagfelvételt folytat a környezetből. Forgatással a szik helyzete megváltozik a tojáson belül, így nem csak az összetapadás előzhető meg, hanem a csírákorong is mindig friss, tápanyagdúsabb környezetbe kerül.

A szikhártyához történő tapadás az embrionális elhalást és a malformációk arányát is növeli, ezért ennek vizsgálata különös figyelmet kapott számos kísérlet során.

Deeming (2000) munkájában Steinke (1966) eredményeire hivatkozik, aki azt állapította meg, hogy közvetlenül a keltetés előtt alkalmazott vibráció negatív hatással van a kelés eredményességére, és ez a negatív hatás a hegyes felével felfelé tálcázott tojásokon kifejezettebb volt, mint a hegyes felével lefelé tálcázottakon.

Sabo és munkatársai (1982) kísérletsorozatukban az vizsgálták, hogy a japánfürj-tojások keltethetőségére milyen hatással van a keltetés előtti vibráció. Az összes alkalmazott vibráció (5, 10, 20, 30, 50, 80, 100 Hz) emelte az embrionális elhalást, de érdekes módon, a 30 Hz-en kezelt tojások embrióinál érte el a legnagyobb hatást (48,50 % volt az elhalt embriók aránya ebben a kísérleti csoportban a 10,87 % kontrollhoz képest). Az egyik kísérletben a keltetés első 7 napján a 10, 20, 30 Hz-es kezelés 7.82, 10.73 és 10.22 %-os korai embrióelhalást eredményezett, míg a kontroll csoportban 1.59 %-ot. A második kísérletben az elhaltak alakulása 20 és 30 Hz-en 6,39 és 9,17 %, míg a kontroll csoportban 3,9 % volt. Meglepő módon, a többi kísérleti csoportban 50, 80, 100 Hz-nél 3,9 %, vagy annál kisebb arányú embrióelhalást tapasztaltak.

Ez a kísérlet felveti a kérdést: elképzelhető-e, hogy a 30 Hz megegyezik a keltetett tömegű tojás saját rezgésével? Az úgynevezett

rezonanciakatasztrófák abból adódnak, ha egy test önrezgése és a gerjesztés frekvenciája megegyezik. Ha a rendszert olyan frekvenciájú rezgésre kényszerítjük, amely megegyezik azzal a frekvenciával, amellyel szabadon ő maga is rezegne, akkor kis gerjesztéssel a lehető legnagyobb amplitúdójú rezgésre kényszeríthetjük a rendszert. Ilyen esetben a gerjesztés által a rendszerbe bevitt kis energiaadagok fokozatosan összegződnek és nagy rezgésamplitúdót okoznak.

Bovenzi (2005) Munkaegészségügyi vizsgálatai során leírta, hogy a rezgésvizsgálatokban általában a gyorsulás-idő függvények ismerete szükséges, mivel a mérések gyorsulás-érzékelőkkel történnek, másrészt a testre ható gyorsulás egyenesen arányos azzal a testre ható tehetetlenségi erővel, ami kiváltja a negatív hatással bíró rezgést.

Az effektív rezgés gyorsulás az időben változó rezgés energetikai átlagáról ad felvilágosítást, mértékegysége:  $m/s^2$

A gyorsulás értékét mérhetjük  $m/s^2$ -ben vagy nehézségi gyorsulás egyenértékben (g), aminek értéke:  $9,81 m/s^2$ .

Bovenzi (2005) humán vonalon végzett számításai, és Gebresenbet és munkatársai (2011) és Nazareno és munkatársai (2013) tojás- és állatszállításokkal végzett munkája adta a megoldást az adatok megfelelő transzformációjához, hogy a mérések összehasonlíthatók legyenek.

1. egyenlet:

$$RMS_j = \left( \frac{\sum_t a(t)_j^2}{N} \right)^{1/2}$$

ahol,

$a_j(t)$  - a megfigyelt pillanatnyi gyorsulás  $j$  tengely ( $x$ ,  $y$  és  $z$ ) irányába és  $t$  az idő ( $t=1, 2, \dots, N$ ); míg  $N$  a megfigyelések száma az adott tengely irányában.

RMS<sub>xyz</sub> - négyzetes középérték (Root Mean Square), effektív érték, amikor az adott rezgés egy meghatározott időszakban számos, különböző nagyságú és előjelű függvényértékkel írható le és a rezgésállapotot egyetlen számértékkel kívánjuk jellemezni.

Az  $x$ ,  $y$  és  $z$  tengely irányában mért RMS-ek (1. egyenlet) a gyorsulásérzékelők által, a kezelés alatt mért pillanatnyi gyorsulásból ( $m/s^2$ ) számíthatók.

A négyzetes közép használata azért szükséges, mert a mért értékek pozitívak és negatívak is lehetnek (gyorsulás, lassulás).

Gebresenbet és munkatársai (2011) és Nazareno és munkatársai (2013) által kidolgozott 2. egyenlet lehető teszi, a különböző időtartamú szállítások, mechanikai kezelések egy összegben történő összehasonlítását.

2. egyenlet:

$$RSS = (RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2)^{1/2}$$

RSS – Root Sum of Squares, a RMS négyzetes középértékek négyzetgyök összege minden irányban. Ez gyakran használatos érték a mechanikai vibráció egy számmal történő kifejezésére. Úgy kapjuk meg, hogy a négyzetgyököt vonunk a vibráció során minden irányba mért négyzetes középértékek összegéből (RMS;  $m/s^2$ ).

Donofre és munkatársai 2017-ben közzétett munkájában nagyon elmés, faktoriális kísérletelrendezést alkalmazva, viszonylag kis elemszám mellett is szignifikáns összefüggéseket mutattak ki. Két különböző szintű vibrációt és behatási időt (60 és 180 perc) alkalmaztak négyes blokk elrendezésben. A kísérletben az alacsony ( $RSS = 2,5 \text{ m/s}^2$ ) és magas ( $RSS = 7,5 \text{ m/s}^2$ ) vibrációs szint beállításakor más szerzők (Randall és mtsai, 1993; Randall és mtsai, 1997 és Nazareno és mtsai, 2013) által már megállapított referenciaértéket használták, hogy hasonló eredményeket reprodukáljanak egy vizsgálat keretén belül.

A legmagasabb fokú vibráción és leghosszabb behatási időn kezelt tojások rosszabb kelési eredménnyel keltek és magasabb középidős embrionális elhalást mutattak a kontroll csoporthoz viszonyítva. Ugyanakkor a késői embrióelhalás tekintetében kizárólag a rövidebb időn keresztül alacsony vibrációnak kitett csoport tojásai mutattak szignifikáns különbséget. A selejt csibék aránya eltérést mutatott a magas vibrációnak kitett csoportokban mindkét behatási időtartamban, míg az alacsony vibráción kezeltké megegyezett a kontroll csoportéval.

## **2.5. Tojástárolás alatti rövid idejű keltetés (SPIDES<sup>2</sup>) hatása a keltethetőség megőrzésére**

A tojástárolás alatti rövid idejű keltetés hatását, azért vontam be a kísérletekbe, hogy megvizsgáljam, vajon a mechanikai hatás által kiváltott sejteróziót a SPIDES kezelés vissza tudja-e pótolni olyan mértékben, ami

---

<sup>2</sup> Short Period of Incubation During Storage

ellensúlyozza a mechanikai hatást a megfelelő sejtszámú, azaz fejlettségű csírákorong esetében.

Olsen (1949) kísérleti munkájának indíttatása meglepően gyakorlatias volt. Elképzelése szerint felesleges terméketlen tenyésztőjásokat a vevőkhöz szállítani. Ezért munkatársaival kidolgoztak egy módszert, ami alapján már 12-18 órás keltetést követően meg tudták állapítani, hogy termékeny-e a tenyésztőjás. Kísérleteikben azt vizsgálták, hogy szállítható-e károsodás nélkül a fentiek szerint előkeltett tojás. A kísérletben a 18 órán át előkeltett és a kontrolltojásokat 50 és 96 órán keresztül szállították. Az első kísérletben a tojásokat nem hűtötték vissza a szállítást megelőzően, ami a keltethetőség drámai romlásához vezetett. Legnagyobb mértékben a korai elhalt embriók aránya emelkedett. A második kísérletben a tojásokat a szállítást megelőzően lehűtötték ugyan (12 °C-ra), de azt figyelték meg, hogy mind az előkeltett, mind az előkeltetés nélküli, kontrollként szállított tojásokban megemelkedett a korai elhalt embriók aránya. Mindkét csoportban emelkedett a deformált embriók aránya is (11,3 % a kísérleti, 8,94 %-ban a kontroll csoportban).

Bogenfürst (2000) mind a tenyésztőjások tárolás előtt végzett egyszeri fölmelegítésnek, az ún. előzetes keltetésnek, mind a periodikus felmelegítésnek kimutatta jótékony hatását nem csak a kelési eredményre, hanem a csibeminőségre és a kelés időtartamára is. Mindkét eljárás célja az optimális gasztrula nagyság megtartása és a tárolás alatti sejtpusztulás ellensúlyozása volt. Húshibrid-szülőpárok hosszan tárolt tenyésztőjaival végzett vizsgálatában a tárolás alatti periodikus felmelegítés kétszeri

kezelés esetén 16,3 %, a háromszori kezelésnél 30,3 % javulást eredményezett a keltethetőségben a kontroll csoportokhoz viszonyítva.

Deeming (2000) tojástárolással foglalkozó cikkében arra is kitért, hogy a megtojás pillanatában a termékeny csírákorong kb. 60.000 sejtet tartalmazó vékony réteg, ami arra hivatott, hogy különböző típusú szövetek alakuljanak ki belőle. A tárolás alatt lejátszódó biokémiai és fizikai folyamatok az embrió sejteinek életképességét veszélyeztetik. Nagymértékű sejtpusztulás esetén nem minden sejtípus tud megfelelően kialakulni, ami fejlődési aszinkronitáshoz, majd az embrió elhalásához vezethet.

Bakst és munkatársai (2012) kísérleteikben különböző tárolási idő alatt különböző genetikai vonalú hústípusú szülőpár tyúkoktól származó tojásokban vizsgálták, hogy milyen arányban csökken a csírákorong életképes sejteinek száma. Munkájukban az Eyal-Giladi és Kochav (1976) által kidolgozott embriófejlődési fokozatszámokat (EGK) használták. Azt figyelték meg, hogy egyrészt a 3-4 napos tárolt tojásban már 100.000 fölötti sejtszám van (EGK X.-nek felel meg), másrészt az elő sejtek száma már 10-12 napos tárolás után 28-36 %-kal csökken a különböző vonalakban.

Deeming (2000) munkájában azt is megemlíti, hogy a tárolás alatt végzett rövid idejű előkeltetés során a hőmérséklet aktiválja a csírákorong sejteinek anyagcseréjét, ami a sejtek reparációját indukálva javítja az életképességet hosszú tárolás alatt. Ezt támasztja alá Fassenko (2009) munkája, amiben megállapította, hogy van egy optimális sejtszám, ami szükséges a normális embrionális fejlődéshez és növekedéshez.

Dymond és munkatársai (2013) az EGK számozás (Eyal-Giladi és Kochav, 1976) mellett egy korábbi embriófejlődési fokozati számozást is használtak, hogy pontosabban meg tudják határozni az embrió fejlettségét. Ezt Hamburger és Hamilton dolgozta ki 1951-ben és a szerzők nevének kezdőbetűjét használva, HH-val jelölik.

Ezen információk ismeretében Dymond és munkatársai (2013) azt a megállapítást tették, hogy a SPIDES kezelésnek pozitív hatása van a keltethetőségre egészen addig, amíg túl nem lépik az optimális embriófejlődési fokozatot, ami az EGK XI-XII és a HH3. Ha a kezelés hatására az embrió a hipoblaszt stádiumba kerül (EGK XIII) vagy esetleg az első primitív szelvények megjelennek az embrión, a kezelés nagy mértékű negatív irányt vesz.

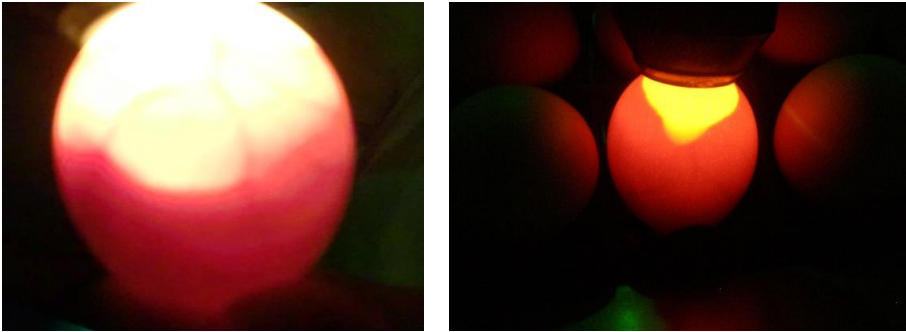
## **2.6. Keltetés alatti mechanikai hatások és befolyásuk**

Sokszor a véletlen műve, hogy tudományos kutatás lesz egy véletlen balesetből. Stiles és Watterson (1937) azért állítottak be kísérletet, mert a biológiai órára keltetett tojások nagy részén a korai embrionális fejlődésre jellemző anasztomózis nem alakult ki, hanem a vérsejtek a blasztoderma periferiáján helyezkedtek el. Mint kiderült, geológus hallgatók törtek követ a keltetőgép közelében. Kísérletüket ezért úgy állították be, hogy a keltetés alatt 490 grammos súlyt ejtettek kb. 6 cm távolságról a keltetőgép tetejére 15-ször, 15 perces időközönként, hogy a rázkódást modellezzék. Csupán egy csibe kelt ki a 155 tojásból. A ki nem kelt tojások töréses vizsgálata során megállapították, hogy főként a szik vérérhálózat-rendszere károsodott és a központi idegrendszer fejlődésében mutatkozott zavar.

Olsen és Byerly (1938) a csirkeembriók keltetés alatti ellenálló képességét vizsgálták mechanikai hatásokkal szemben. Kísérletükben a mechanikai hatást 4 féle módon modellezték: rázógéppel, centrifugálással, kézzel rázással, illetve dinamitot robbantottak a közelükben. A rázógépet egy elektromotor hajtotta, ami percenként 229 oszcilláló mozgást végzett 7,6 cm elmozdulással. Az embrionális elhalást a szik vagy a chorio-allantois membrán megszakadása okozta. Ők nem találtak deformált embriót. A ráhatást a tojás rövid és hosszanti tengelyének irányában is elvégezték. Az embrionális elhalás megegyező vagy alacsonyabb volt, amikor a tojás hosszanti tengelyével párhuzamosan rázták. Érdekes megfigyelés volt, hogy amikor a tojásokat a hatás a tompa felükön érte, nagyobb arányban fordult elő mozgó (reszkető) légkamra, ami az embrionális elhalást drámaian megemelte. Az ebből adódó elhalás azonban csökkent, amennyiben a légkamra újra letapadt. A mechanikai hatás típusától függetlenül azt állapították meg, hogy a keltetés 14-20 napja között az embriók jól ellenállnak a mechanikai behatásoknak, míg a keltetés 4-12 napja között érzékenyek. Gyakorlati tanácsuk ezek alapján az, hogy bármilyen beavatkozást (pl. lámpázást) az érzékeny időszak után végezzünk.

Knox és Olsen (1936) az előző kísérlethez hasonló vizsgálatot végeztek kimondottan az átszakadt, mozgó légkamra kiváltására. Itt a kézzel rázást úgy végezték, hogy mind a tojás tompa, mind a hegyes felén érvényesüljön a hatás. Hipotézisük szerint, ha a blasztoderma károsodik, az ép légkamra ellenére is csökken a keltethetőség. Gyakorlati tanácsuk, hogy a tojásokat tompa felükkel felfelé kell szállítani szoros, de a levegőáramlást lehetővé tevő csomagolásban.

## 18. kép: Lámpázással kimutatható átszakadt és leszakadt légkamra



Forrás: saját fotó

Az átszakadt, mozgó légkamra megnöveli a kikelés közben a tojásba befulladt embriók arányát, mivel a chorio-allantois légzésről a tüdőlégzésre való átálláshoz a légkamrában lévő levegő fontos szerepet játszik.

Randles és Romanoff (1954) elődeik kísérletei és eredményei alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a mechanikai hatásoknak több fontos tényezője van. Ezek: a frekvencia vagy oszcilláló mozgás egységnyi idő alatt, a behatás időtartama, a kilengés mértéke (amplitúdója) és az ismételt behatások közt eltelt idő.

Kísérletük során a keltetőgépbe szereltek rázógépet, ami 121-435 tartományban különböző számú oszcilláló mozgást végzett percenként, 1,27 cm elmozdulással. A rázás mellett normál forgatást nem végeztek. A negatív kontrollt nem forgatták. A legkíméletlenebb beavatkozás 0 % kelést eredményezett, amikor óránként 2 percet rázták 230 oszcillálás/perc intenzitással a tojásokat. Arra következtettek, hogy a túl hosszú mechanikai hatás, vagyis a magas frekvenciájú rázás megöli az embriót.

Másrésről azonban a magas frekvencia kevésbé volt káros, mint az alacsony, ha csak pár másodpercig tartott a kezelés. Meglepő módon a rázott tojás a legtöbb esetben jobban kelt, mint a nem forgatott negatív kontroll, ami arra utal, hogy a forgatás mellett a rázás is biztosíthatja a normális fejlődéshez szükséges fizikai hatást.

A kísérletsorozatomban azt is vizsgáltam, hogy vajon a rázás helyettesítheti-e a tárolás alatti forgatás jótékony hatását.

Lizurek (1973) azt figyelte meg, hogy amikor a csirkeembriókat 5 Hz-en és 5 mm kilengéssel rázták (0,25 G), csökkent az oxigénfelvétel a keltetés 5-8. napja között. Ez egybeesik azzal az élettani folyamattal, amikor az allantoisz átveszi az oxigénfelvétel és széndioxidleadás szerepét a sziktól.

Ezt alátámasztották Schmidt és munkatársai (1979) is, akik szintén az oxigénfogyasztással mérték a stresszállapotot. A mechanikai hatást rázással modellezték, de nem csak 8, hanem 15 napos embriókon is. A tojásokat 3 percig rázták 100-300 oszcilláció/perc intenzitással és azt tapasztalták, hogy az oxigénfogyasztás csökkent a stressz hatására. Amikor 300/perc intenzitással rázták, mindkét időpontban (8. és 15. nap), oxigéncsökkenést tapasztaltak. Csak a 8 napos embriók mutattak stresszállapotot a 100/perc intenzitású, 3 perces kezelést követően. 300/perces kezelés esetén viszont erőteljes csökkenés mutatkozott az oxigénfogyasztásban még 4 órával azután is, hogy visszahelyezték a gépbe, azonban az idősebb embriókban (15 nap) 4 óra elteltével már normális szintre rendeződött az oxigénfogyasztás.

1990-ben a csirkeembriók újra az embriológia szolgálatába álltak. Az amerikai légierő vizsgálta, hogy az állapotos női dolgozók magzatára

milyen hatással lehet a vibráció, aminek munkájuk során ki vannak téve. A madárembriót azért találták alkalmas modellnek, mert az anyai szervezet által okozott stressz így kizárható és csak az embrión kiváltott hatás mérhető.

Taggart és munkatársai (1990) kísérletükben a csirkeembriókat 3 óránként 15 perces rázásnak tették ki Materials Test System vibrációs asztalon, ami vertikális irányba mozgott. A maximum nehézségi gyorsulás 0.25 G volt 1-Hz-nél. 5 és 10 Hz-en maximum 3 g-t értek el. 1 Hz-et azért választották, mert egémbriókkal végzett kísérletek alapján a legnagyobb károsító hatást azzal a rezgésszámmal lehet elérni, ami megegyezik az embrió belső szerveinek rezgésszámával. Ezért előzetes vizsgálatokkal megállapították, hogy a szik 1 Hz körül mutatja a legtöbb mozgást a tojáson belül. Érdekes módon a szik sem 0,6 Hz alatt, sem 1,7 Hz fölött nem mozdult el jelentősen. Az 5 Hz-et azért választották, mert Lizurek (1973) vizsgálatai szerint ez a rezgésszám vált ki oxigénfelvétel-csökkenést. Kísérletükben megállapították, hogy a rázkódás a korai elhalt embriók számát emeli. Az adatokból kitűnik, hogy ugyanakkora nehézségi gyorsulás mellett az 5 Hz (0 % kelés) kártétele nagyobb, mint a 10 Hz-é (12 % kelés). Az 1 Hz-es rázás, amivel 0.25 g-t értek el, 54 %-os kelést eredményezett (a tojások 7 %-át összetörte ez a rezgésszám), míg a kontroll kelése 84 % volt. Az 5 Hz-es csoportban a tojások többségében szétrobbant a szik. A 10 Hz-es csoportban a tojások 64 %-ban csak amorf szövetállomány volt fellelhető. Az embriók 8 %-ánál a szemmel kapcsolatos deformitások (hiányzó szem) voltak megfigyelhetők.

19. kép: Hiányzó szemek az embriókon a keltetés különböző időpontjában és a kikelt naposcsibén



Forrás: saját fotó

Végső következtetésként a szerzők azt vonták le, hogy a vibráció ezeken a szinteken az embriók pusztulását okozza, függetlenül a szik saját rezgésszámától.

A csirkeembrió modellként való alkalmazása ugyanezzel a céllal tovább folytatódott egy újabb kísérletben, ahol egy összetettebb kísérletsorozatban különböző frekvenciákat, amplitúdókat, amplitúdómodulációkat és behatási időt vizsgáltak Shannon és munkatársai (1994). Kísérletükben szintén a Materials Test System vibrációs asztalt használták. Vizsgálták azt is, hogy a kísérleti tojások különböző elhelyezése esetén milyen hatást vált ki a tényleges vibráció az egyes variációkban. Amikor 5 Hz rezgés mellett az amplitúdót 1 Gz-ről 1.5 és 3 Gz-re emelték, az embrióelhalás megduplázódott (27.8 % vs. 46.4 % vs. 90.7 %).

(Gz = normalizált vibrációs kilengés, ami 100 g tömegre, mint egyenértékre átszámolt nehézségi gyorsulás négyzetes középértéke. A

négyzetes középérték használata különösen hasznos, ha a mennyiség értékei pozitívak és negatívak is lehetnek, mivel a rezgés is hullám).

Amikor ugyanezen szerzők amplitúdómodulációt végeztek, azt találták, hogy nagyon szoros összefüggés áll fenn a vibráció, az embrió fejlődése és az embrionális elhalás között. Azt a következtetést vonták le, hogy a csirkeembriókat nem szabad 2 Gz fölötti hatásnak kitenni. Ugyanakkor akár 1 Gz fölötti hatás is káros lehet bizonyos frekvenciaszinteken. Nagyon érdekes megfigyelés, hogy veleszületett rendellenességek fordultak elő a vibrációnak kitett embrióknál, míg a kontroll csoportban nem. A kezelt csoportnál elsősorban a szemmel, arckoponyával összefüggő rendellenességeket találtak (hiányzó szem, keresztcsőr) (19. kép), ugyanakkor megfigyeltek deformált lábakat, érzékelési diszorientációt és izomgyengeséget is.

Ezek alapján az Amerikai Légierő várandós nőknél a magzatok védelmében azt javasolta, hogy a hadsereg állapotos női alkalmazottai nem repülhetnek forgó szárnyas légi járműveken (beleértve a helikoptereket és a mozgatható légcsavaros repülőgépeket).

Napjainkban számos adatrögzítő logger elérhető, mégis korlátozott számú szakirodalom áll rendelkezésre azokról az eszközökről, amelyek a keltetés előtt/alatt mérik a mechanikai hatást. Egy ilyen tudományos munka, amit az újzélandi Department of Conservation megbízásból végzett Potter és Basett (2001) a természetből begyűjtött kivi- és emutójásokkal. Azt vizsgálták, hogy a különböző begyűjtési módok során keletkező rázási hatások hogyan hatnak laposmellű futómadarak embrióinak fejlődésére és a kelés sikerességére. Mivel a tojásokat a vadonból gyűjtötték be, ezek a tojások már kelésben voltak. Tynytag magas érzékenységgű (5 g-ig méri a

gravitációs gyorsulást) mechanikai sokk loggereket helyeztek a hűtődobozba, amiben a tojásokat egyesével becsomagolva helyezték el. A hűtődobozt ezután a járműhöz vitték és a hátsó ülésen a biztonsági övvel rögzítve szállították. 1-1,41 maximum g-t mértek a szállítások alatt. A legmagasabb értéket akkor kapták, amikor kézben vitték a dobozt, a legalacsonyabbat pedig, amikor földúton hajtottak autóval. Arra következtettek, hogy a kísérletben mért rázkódás, nem fokozta az abnormalitások arányát a fejlődő embriókban és a kikelt csibékben. Nem találtak arra utaló jelet sem, hogy az embrió bármely életszakaszban érzékenyebb lenne a rázkódásra.

Egy átfogó, 2013-ban végzett tanulmányban Lambrechts és munkatársai három különböző nézőpontból is vizsgálták vibráció hatását a csírákorong életképességére és az embrionális fejlődésre. Mérték a keltetés előtt alkalmazott vibráció hatását az embrió fejlődésére és a csibe minőségére, az extraembrionális vérkeringés fejlődésére, és a csírákorong életképességére. A kísérletekben Gyrotory Shaker-Modfel G2-t használtak, amit percenként 200-250 vibráción ráztak 60 percig, ami – saját bevallásuk szerint – nem a tényleges szállítási körülményt modellezi. A különböző tárolási időket is tekintetbe vették a kísérlet során. Az embriófejlődéssel kapcsolatos kísérletben azt állapították meg, hogy a vibráció befolyásolta ugyan a 7., 14. és 18. napon megvizsgált embriók fejlődését (a tömeget és embrió hosszát), de nem befolyásolta a kikelt csibe minőségét. A hosszabb tárolási idő nem eredményezett nagyobb hatást. Az extraembrionális vérkeringés fejlődését vizsgáló kísérletben azt találták, hogy a korai elhalt (a keltetés 2.-4. napján elhalt) embriók aránya szignifikánsan megemelkedett. A korai elhalt embriók többsége a nagyon

jellemző „vérgyűrűs” állapotban volt. Egy lehetséges magyarázat erre a jelenségre a blasztoderma és a szikmembrán között megszakadó kapcsolat. Ez hasonló ahhoz a jelenséghez, ami a hosszas tárolás alatt zajlik (Fasenko, 2009). Ebben az esetben a sejtosztódás folytatódik ugyan, de a sejtek már nem képesek arra, hogy rendezett formába alakuljanak, és végül elhalnak (New, 1959). A csírákorong életképességének vizsgálatához áramlási citometriát (flow cytometry) használtak. A mechanikai behatás után azonnal begyűjtötték a csírákorongokat, azonban a rázás következtében nem nőtt az elhalt sejtek aránya. A kísérletben alkalmazott tárolási időről azt nyilatkozták, hogy talán nem volt elég hosszú az összes elvárt szignifikáns hatás kiváltásához (4-10 napos tojásokat használtak). Végül következtetésként azt vonták le, hogy mivel az alkalmazott mértékű vibráció nem modellezte a tényleges szállítási körülményeket, eredményeik alapján nem becsülhető meg a szállítás kártétele.

Saját kísérleteimben a szállítás alatti vibrációt és nehézségi gyorsulást modelleztem azzal a szándékkal, hogy gyakorlati tanácsot tudjak adni a mechanikai hatás mértékére, ami mellett a legkisebb kelésieredmény-csökkenéssel (romlással) szállíthatók a tenyésztőtojások.

### 3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

#### 3.1. Érzékelők, adatrögzítő loggerek és adattranszformációk

##### 3.1.1. Általános információk az érzékelő- adatrögzítő loggerekről

A gyorsulásmérőket statikus gravitációs gyorsulás mérésére használják, amely lehetővé teszi, hogy meghatározzuk a mért tárgy függőleges síktól való eltéréseinek szögét, valamint az ütés, mozgás, behatás vagy rezgés, azaz alacsony amplitúdó által okozott dinamikus gyorsulás mérését, pl.: alacsony amplitúdójú frekvencia rezgések (100 Hz alatt), (TME, 2020).

A gyorsulásmérő a rezgési energiát olyan elektromos jellé alakítja, amely arányos a tárgy pillanatnyi gyorsulásával és megméri a gravitációs gyorsulási erőt (g vagy  $m/s^2$ ) mértékegységben, és méréseket végez egy, két vagy három síkban. Lehetnek egy tengelyes (pl. TGP-0605) vagy háromtengelyes gyorsulásmérők pl. (HOBO), amelyeket három különálló gyorsulásmérő rendszeréből alakítanak ki.

Piezoelektromos gyorsulásérzékelőkben a mechanikai erő hatására a kristály felületei között elektromos feszültség keletkezik, ami a gerjesztő rezgéssel arányos elektromos jelet ad. Hasonló elven működik a vibrációt érzékelő és mérő logger (TGP-0650), de a mértékegység mm/s, azaz az időegység alatti amplitúdó mm-ben. Ugyan a rezgés is hullám, de az időtartomány-elemzés nem teszi lehetővé számunkra, hogy egyedi komponensekre bontsuk. Ilyen esetben hasznos a frekvenciatartomány elemzése. Az olyan algoritmusok használata, mint a gyors Fourier-transzformációk, vagy a teljesítmény-spektrális sűrűség, lehetővé teszi a hullámformák és eltérések elemzését. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy

a vibráció mérésére is legelterjedtebb a nehézségi gyorsulásmérők használata (Doherty, 2021).

### **3.1.2. A vizsgálatokban használt érzékelő- adatrögzítők és előzetes mérések**

#### **3.1.2.1. Tinytag adatrögzítő/logger**

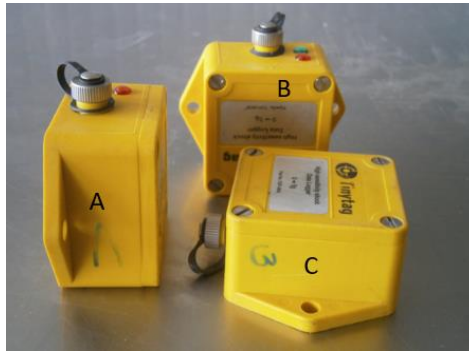
TGP-0605 piezo elektronikus érzékelővel ellátott adatrögzítő logger, ami 0-5 g-ig, azaz 0-49 m/s<sup>2</sup> méréstartományban érzékeli a gyorsulást, azaz gyorsulásérzékelő. Pontossága: ±10% mért érték +0.02g (0.10g - 5g között), míg érzékenysége 0.02g (0.2m/s<sup>2</sup>) (0.10g - 5g tartományban). Az érzékelő abban az esetben biztosítja a megadott pontosságot, ha a mért sokk fél szinusz hullámának hossza hozzávetőlegesen 2ms-20ms tartományba esik. Ez az érzékelő logger az ennél gyorsabb, vagy lassabb sokkra kevésbé érzékeny.

TGP-0650 piezo elektronikus érzékelővel ellátott adatrögzítő logger, ami 0-50 mm/s mérési tartományban (válaszfrekvencia 20Hz - 1kHz) érzékeli a vibrációt. Pontossága: ±10% mért érték + 0.2mm/s (1 - 40mm/s tartományban), míg érzékenysége 0.2mm/s (1- 40mm/s tartományban).

Az adatok letöltése és az alapelemzések Tinytag loggerekéről, a SWCD-0040 Tinytag Explorer Software-rel történt. Mind a loggerek, mind a software gyártója: Gemini Data Loggers (UK) Ltd.

A Tinytag loggerek csak egy irányban mérnek, ezért a loggerek elrendezése a következő volt azokban a kísérletekben, ahol ezeket a loggereket használtam (20.kép).

## 20. kép: Tinytag loggerek elrendezése



Forrás: saját fotó

Ennek a loggernek a hátránya, hogy közvetlenül nem helyezhető a tojások közé és nehéz úgy rögzíteni, hogy az érzékelőt körülvevő ház ne mozduljon el, ami rontja a mérés pontosságát. Továbbá negatív irányú gyorsulást (lassulást) nem mér, ami szállítási körülmények elemzésénél nagyon informatív (pl. gyakori fékezések).

21. kép: Tinytag loggerek elhelyezése a mechanikai hatást modellező gépen



Forrás: saját fotók

### 3.1.2.2. Tinytag adatrögzítő/logger üzemi mérések

A loggereket stabilan rögzítettük a műanyag tálcákhoz. A 20. képen látható elrendezésben- közúti szállításoknál a raklapok tetejére.

Az adatok elemzéséhez IBM SPSS Statistics. Pearson korrelációt számítottunk ( $P < 0,05$ ) A regressziós egyenletet Stepwise módszert alkalmaztunk.

### 3.1.2.3. HOBO adatrögzítő/logger

Onset HOBO Pendant G gyorsulásérzékelő használatával ez a kérdés megoldódott, mivel három irányban mér egyidejűleg (X, Y és Z tengelyek), 0-3 g tartományban, és rögzíti a mért adatokat. Pontossága:  $\pm 2.5\%$  (UA-004-64).

Adatok letöltése és alapelemzések: HOBOWare Version 3.5

Mind a loggerek, mind a software gyártója: MicroDAQ, US.

22. kép: HOBO adatrögzítő/logger



23. kép: HOBO adatrögzítő/logger elhelyezése a tálcán a mechanikai hatás modellező gépen



#### 3.1.2.4. HOBO adatrögzítő/logger üzemi mérések

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy nem mindig a szállítás maga okozza a tojások mechanikai sérüléseit. Erre én is akkor figyeltem fel, amikor majdnem minden szaktanácsadói utamon ragaszkodtam a szállítójárművek loggeres ellenőrzéséhez és megfigyeltem a tojástörések arányát és az adott törésképeket.

HOBO logger - tojás alakja miatt (22. kép) bármilyen technológiai folyamatban használható, így minden lépésben végig kísérheti a tojásokat.

A kapott adatokból, az 1. és 2. képletek használatával számítottuk ki az RSS értékeket. Ha több egymást követő technológiai folyamat követte egymást (pl. lehúztatás a fészekből, tojásosztályozó, szállítás), akkor időzítővel követtük a loggert és naplóztuk az adatokat.

### 3.1.3. Loggeradatok transzformációja

Mivel a loggerek mérésenként 30-50 ezer adatot is rögzítenek attól függően, hogy milyen mintavételi gyakoriságra állítjuk, gyakorlati okokból az adatok transzformációjára volt szükség.

A loggerek adattranszformációit a szakirodalmi fejezetben bemutatott egyenletekkel végeztük el.

1. egyenlet:

$$\text{RMS}_j = \left( \frac{\sum_t a(t)_j^2}{N} \right)^{1/2}$$

2. egyenlet:

$$\text{RSS} = (\text{RMS}_x^2 + \text{RMS}_y^2 + \text{RMS}_z^2)^{1/2}$$

Ahhoz, hogy a különböző típusú loggerek eredményei összehasonlíthatók legyenek, az  $\text{RSM}_x$  és az x-tengely irányában mért maximum érték ( $\text{MAX}_x$ ) minden kísérletnél bemutatásra kerül.

### 3.2. A szállítás mechanikai hatását modellező gép

Crazy Fit Massager vibrációs gép (továbbiakban CFM gép) a 21. és a 24. képen látható. Ennek a gépnek két dimenzióban elmozduló vibrációs platformját 1500 watt teljesítményű motor mozgatja, és ez teszi lehetővé, hogy – beállítástól függően – a gép 0-30 Hz-en mozogjon, maximálisan 12 mm vibrációs amplitúdóval.

### 3.3. Tojásgyűjtő-, szállító- és keltetőtálcák

A kísérletben papír- és műanyag tálcákon is elvégeztem a kísérletet, hiszen a behatás mértékét a csomagolás módja nagymértékben befolyásolja.

A gyakorlatban, hosszú idejű tojásszállítások esetén (pl. export) papírtálcákat használnak. Ez a bevett gyakorlat több szempontból hasznos, hiszen egyrészt a papírtálca jobban védi a tojásokat a sérülésektől, másrészt a műanyag tálcán történő szállítás dupla annyi idővel jár (meg kell várni az autónak a tojások át-tálcázását) és külön dokumentációval jár a szállításra használt műanyag tálcák visszajuttatása a küldő országba, aminek biosecurity szempontból is vannak kockázatai.

A papírtálca 20 librás, darabonként 30 db tojás tárolására, szállítására alkalmas. Mivel a felhasznált göngyöleg is költséget jelent, a göngyöleget terhelő termékdíj, és a környezettudatosság miatt egyre nagyobb mértékben elterjedt a műanyag tálcákon történő tenyésztótojás szállítás. A mérleg másik serpenyőjébe viszont az így esetlegesen elveszíthető tenyésztótojás, a műanyag tálca fertőtlenítését terhelő költség és a nem megfelelő fertőtlenítésre, szárításra visszavezethető, bakteriális eredetű veszteségek kerülnek.

Mivel mindkét tálcátípusnak vannak előnyei és hátrányai, azt kell mérlegelni, hogy az adott körülmények (útviszony, szállítójármű) és a tojás sajátosságai (méret, tojáshéj szilárdság) melyik használatát teszik gazdaságosabbá.

A kísérletben kétféle műanyag tálcát, a 30x30x5.5 cm-es, darabonként 30 db tojás tárolására, szállítására alkalmas, raklapozható tálcát, és a Petersime által forgalmazott B14279 jelölésű, 60 db tojás tárolására, szállítására, előkeltetésére alkalmas önhordó előkeltető tálcát alkalmaztam.

## 24. kép: Kezelési beállítások a CFM gépen különböző típusú tálcákkal



A B14279 kehely kialakítása megegyezik a Petersime 2000 után gyártott előkeltető tálcáival, így modellezi az egyre elterjedtebb előkeltető tálcás tojásbeszállítást.

A kísérletsorozat során rövid idejű behatásokat – 5 perc – is végeztünk azon elmélet alátámasztására, hogy nem csak a behatás ideje, hanem a hatás mértéke is befolyásolja az így kiváltott negatív tüneteket.

Hiába helyezkedik el a termelőtelep a keltetőüzemhez viszonylag közel, ha az útviszonyok és/vagy a szállítójármű és/vagy a vezetési stílus nem megfelelő, az okozott gazdasági kár jelentősebb lehet a műanyag tálcán történő szállítás esetén, mint amit megspóroltak a göngyölegen és a termékdíjon.

25. kép: Szállítóeszköz a teleptől pár száz méterre lévő keltetőbe



Forrás: Dejan Bosanac (2012)

### 3.3.1. Tojásgyűjtő-, szállító- és keltetőtálcák vizsgálata

Annak összehasonlítására, hogy az egyes tojások mekkora felületen érintkeznek az egyes tálcatípusokkal egy egyszerű összehasonlító vizsgálatot végeztem. A tojást milliméterpapírral burkoltam be (26. kép, bal), és különböző színűre festettem a tálcák kelyheinek belsejét. A milliméterpapírokat kiterítve az érintkezési felületek összehasonlíthatók a négyzetrácsok megszámlálásával (26. kép, jobb).

26. kép: Milliméterpapír és festék használata az érintkezési felület meghatározása (Forrás: saját fotók)



Magyarázat:

zöld – 20 librás, 30 db-os papírtálca (1),

piros – M-L tojások szállítására javasolt 30 db-os műanyag tálca (3),

kék – S-M tojások szállításra javasolt 30 db-os műanyag tálca (2),

fekete – 60 db-os előkeltető tálca (4).

A tálcákat egyszerű teszttel, HOB0 loggerrel is összehasonlítottam.

A tálcákat fix, 5 és 10 cm magasról ejtettem le különböző felületekre: betonra, buborékfóliával bevont betonra és talajra.

### **3.4. A kísérletekben felhasznált tojások**

A kísérletben minden esetben fiatal ROSS nagyszülő állomány anyai (8-as) és apai (4-es) vonalától származó, a tojóidőszak kezdetén termelt tojásokat használtam, melyek átlagtömege kisebb, mint 52 g.

A különböző genetikai háttérű nagyszülőpárvonal teljesítménymutatóit az 1-4. melléklet tartalmazza.

A vizsgált állományok tartási körülményei és takarmányozása azonos volt. Az egyes kísérletek tojásai ugyanarról a nagyszülőpártelepről származtak. Mivel gyakran a termelés legelső tojásait használtam fel kísérleti célokra (ennek oka az volt, hogy a kísérletek miatti naposcsibe kiesések ne okozzanak komoly gazdasági kárt), néhány esetben a keltethetőség tükrözi a „jércetojás” jellemzőit.

Ahol lehetőség volt rá, az apai és az anyai vonal tojásait párhuzamosan vizsgáltam meg. Így arra is választ kaptam, hogy a különböző genetikai háttérű vonalak, hogy reagálnak a mechanikai hatásokra.

### **3.5. Tojások kezelése, keltetése és az ahhoz kapcsolódó adatgyűjtés**

A kontrolltojásokkal megegyező körülmények közt tároltam és keltettem a kísérleti csoportok tojásait, az esetleges eltéréseket a kísérletek részletes leírásában jeleztem.

Bogenfürst (2000) Keltetés című könyve dolgozatom elkészítése során mindvégig alapismereteket nyújtó információként szolgált.

A tojástárolás alatt 16-17 °C-ot biztosítottunk, a keltetés alatt pedig – a genetikai vonalak szükségleteinek megfelelően – a tojáshéjhőt 37,8-39,9°C (100-102°F) tartományban tartottuk, a tojástömeg veszteség pedig az előírt 10-11 %-tól nem tért el.

Az adott kísérletben használt tojások – mennyiségtől függően – vagy ugyanarra az előkeltető kocsira, vagy 2 db előkeltető kocsira helyezve kerültek a keltetőgépbe.

Arra külön ügyeltem, hogy a kontroll- és a kísérleti csoportok úgy helyezkedjenek el az előkeltető kocsin, hogy az esetleges hő-egyenetlenségnek minden csoport tojásai egyformán legyenek kitéve. Egymás alá nem kerültek ugyanazon kezelés vagy kontrollcsoport tálcái. A tojások keltetésére Petersime előkeltető gépeket használtam. A keltetési programot csak a keltetés idejének meghosszabbításával módosítottam azért, hogy megfeleljen a tárolás hosszának és kielégítse a fiatal állományok tojásainak igényeit.

A lámpázáskor kiszedett és kelés után a tálcán maradt tojásokat feltörtem. A ki nem kelt tojások vizsgálatát a „Keltetés gyakorlata - Ross Technológiai Kézikönyv”-ben (Tullett, 2009) leírtaknak megfelelően végeztem, az embriók fejlettségének meghatározásánál a Hamburger és

Hamilton (1951) fejlettségi szinteket használtam. Ezek alapján az alábbi fő kategóriákat különböztettem meg:

- terméketlen,
- korai elhalt (a csőrkarom megjelenéséig elhalt embriók, kb. 9. keltetési nap, HH30-ig),
- középidős elhalt, kitollasodott (csőrkarom megjelenésétől a teljes kitollasodásig, kb. 16. nap, HH48),
- késői elhalt (teljes kitollasodástól),
- befertőződött,
- törött,
- torzképződmények, fejlődési rendellenességek.

✓ Ezen belül a záró kísérletsorozatban az „agyszövet kizáródás (27. kép), hiányzó szem(ek), csőr-, és/vagy „abnormalitások a fejen” (19. kép) és a „szám feletti végtagok” (27. kép), „gerincduplikáció” (27. kép) csoportjait külön is megvizsgáltam, mivel ezek megjelenése szorosabb összefüggésben lehet a mechanikai hatásokkal.

26. kép: Agyszövet kizáródás (bal), szám feletti végtagok (középső), gerincduplikáció (jobb)



Forrás: saját fotók

Rendellenes fekvések közül a leggyakrabban előfordulókat vizsgáltam, Tullett (2009) kategóriáinak megfelelően, ezek (28. kép balról jobbra):

- 1. típusú rendellenes fekvés – fej a combok között, BL
- 2. típusú rendellenes fekvés – fej a tojás hegyes pólusában, UD
- 3. típusú rendellenes fekvés – balra fordított fej, LW
- 6. típusú rendellenes fekvés – csőr a jobb szárny felett, HAW

28. kép: Rendellenes fekvések ábrázolása (balról jobbra: 1. 2. 3. 6 típusú rendellenes fekvések)



Forrás: Tullett (2009)

Az adatok rögzítése tálcánként történt. A 30-as papírtálcákat, illetve az elő- és utókeltető tálcákat az összes kísérletben, mint adatgyűjtési és vizsgálati alegységet tekintettem.

Kelés után a csibéket minősítettem a Pasgar pontozás (Boerjan, 2008) szempontjai alapján. Az első- és másodosztályú naposcsibéket is tálcánként számoltam össze.

## 1. táblázat: A Pasgar-pontozás szempontjai (Boerjan, 2008)

Kategória	Selejtezésre, lepontozásra okot adó jellemzők
Reflex	A naposcsibének több mint 2 másodpercet vesz igényébe, hogy a hátáról a hasára forduljon
Köldök	A köldök pici fehér csomóval, kis fekete heggel vagy nagy fekete heggel záródott; a köldökszik maszatos, pihe a köldök körül tojásfehérjével szennyezett, nyitott köldök
Lábak	Kipirosodott csánkok, duzzadt csánkok, a láb fejlődési rendellenességei
Csőr	Piros pötty, az ornyílásokban, tojásfehérje szennyeződés, a csőr fejlődési rendellenességei
Szik	Üres vagy túl nagy sziktömlő

A törött/repedt tojások arányát az összes vizsgált tojások darabszámából számítottam.

A tojástöréses és a kelési eredményeket termékeny tojásra vetítve fejeztem ki. A terméketlen tojások elkülönítése a tojástöréses vizsgálat során történt.

HOF% - termékeny tojásra vetített keltethetőség (hatchability of fertile eggs)

EDoF% - termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók aránya (early dead embryos of fertile eggs)

MDoF% - termékeny tojásra vetített középido elhalt embriók aránya (mid term dead embryos of fertile eggs)

LDoF% - termékeny tojásra vetített késői elhalt embriók aránya (late dead embryos of fertile eggs)

MALFoF%- Torzképződmények, fejlődési rendellenesség tüneteit mutató embriók aránya termékeny tojásra vetítve (malformation of fertile eggs).

### **3.6. Kísérletek anyag és módszere**

A kísérleteket blokkokban hajtottam végre, ahogy folyamatosan bontakoztak ki az összefüggések, úgy próbáltam a következő kísérleteket megtervezni és beállítani. A statisztikai elemzéseket minden esetben SPSS software segítségével végeztem.

## 2. táblázat: Összesítő táblázat a beállított kísérletekről

<b>Kísérlet száma</b>	<b>Tálcák /kezelések/ anyai és apai vonal</b>	<b>Időtartam (perc)</b>	<b>Behatás mértéke (Hz)</b>
1.	Papírtálca Anyai vonal	CFM 10 perc	Periodikusan változó 10-30 Hz között
2.	Papírtálca Anyai vonal	CFM 10 perc	Periodikusan változó 10-30 Hz között
3.	Papírtálca Anyai vonal	CFM 10 perc	Állandó 20 vagy 30 Hz
4.	Papírtálca Anyai és apai vonal	CFM 5 perc	Állandó 10 vagy 20 Hz
5.	Papír- és 30-as műanyag tálca Anyai vonal	CFM 10 perc	Periodikusan változó 10-30 Hz között
6.	30-as műanyag tálca Anyai vonal	CFM 5 perc	Állandó 10 vagy 20 Hz
7.	60-as műanyag tálca Anyai és apai vonal SPIDES	CFM 5 perc	Állandó 10 Hz
8.	Anyai és apai vonal SPIDES	Közúti szállítás	Közúti szállítás értékei
9.	Anyai és apai vonal SPIDES Egyes kísérleti csoportok forgatása tárolás alatt	CFM 5 perc Közúti szállítás	Állandó 10, 20 vagy 30 Hz és közúti szállítás értékei

### 3.6.1. CFM gép alkalmassága a szállítás modellezésére

A CFM gép alkalmasságának tesztelésére bevezető kísérleteket állítottunk be.

Az 1. és 2. kísérletben 2100, a 3. kísérletben 1350 tojást vizsgáltam csoportonként. A tojásokat 150-es alegységekre osztottam (Petersime előkeltető tálca, mint vizsgálati alegység). Mind a kezeléseket, mind az adatgyűjtéseket alegységenként végeztem.

Az 1. és 2. kísérletben a CFM gépet úgy állítottam be, hogy 10 és 30 Hz között periodikusan változó rázásnak tegye ki a tojásokat. A kezelés időtartama mindkét esetben 10 perc volt.

A 3. kísérletben a CFM gépet 20 és 30 Hz vibrációra állítottam.

A vizsgálatokat csak anyai tojásokkal végeztük, mert a modellező gép alkalmasságának a tesztelése volt a cél és az anyai tojás nagyobb számban hozzáférhető volt a kísérletekhez. A tojások a kezelést papírtálcán kapták meg.

A tojásokat papírtálcán kezeltem, majd a keltetés megindulása előtt tálcáztam át előkeltető tálcára. Az 1. és 3. kísérletben a tojások keltetését a kezelés napján, míg a 2. kísérletben 3 nap elteltével kezdtem.

Az 1 és 2. kísérletben az adatokat független T-próba teszttel elemeztem, a 3. kísérletben ANOVA elemzést használtam. A szignifikancia szint  $P < 0,05$ .

### **3.6.2. Különböző behatási (kezelési) idők, tálcátípusok és vonalak vizsgálata**

Ebben a kísérletsorozatban az apai vonal megfigyelésével bővítettem a vizsgált paramétereket és különböző tálcátípusokat teszteltem, anyai vonal tojásaival.

A 4. kísérletben 30-as alegységekre bontottam a 629 kezelt tojást, hogy alacsonyabb elemszám esetén is biztosítani tudjam a megfelelő csoportszámot. Ebben a kísérletben vizsgáltam először az apai vonalú tojásokat az anyai vonalak tojásai mellett. 30 darabos papírtálcára helyezve 10, 20 és 30 és Hz-re állított CFM gépen ráztam az apai, illetve 10 és 20 Hz-en az anyai tojásokat.

A tojások keltetése egy napon belül megkezdődött, feltételezve, hogy a különböző vonalak közti különbség így statisztikailag biztonságosabban meghatározható.

Az 5. és 6. kísérletben 30-as papír és műanyag tálcákat (21. kép és 24. kép bal) használtam a CFM gépen.

Az 5. kísérletben, a rázógép teljes kapacitásnak kihasználásával (periodikusan változó 10-30 Hz, 10 perces kezelés) és különböző csomagolóanyagok (tálca) használatával modelleztem a tojásokat érő, különböző fizikai hatásokat. 4198 anyai vonaltól származó tojást vontam be a kísérletbe.

A tojások 30-as papír- vagy műanyag tálcán kapták meg a kezelést, mivel azt feltételeztem, hogy a tálca típusa és kialakítása nagymértékben hozzájárul ahhoz, hogy a közölt mechanikai hatás milyen arányban tevődik át a tojásra.

A 6. kísérletben tovább elemeztem a műanyag tálca hatását. A periodikusan változó rázás helyett az állandó 10 és 20 Hz rezgésre állítottam a gépet. A behatási időt 5 percre csökkentettem, mert az előző kísérletekből kiderült, hogy ennyi idő is elég negatív hatás kimutatására. Először a Person korrelációs mátrixot elemeztem, majd egy és többváltozós varianciaanalízist alkalmaztam az interakciók feltárására (vonal x vibráció szintje).

### **3.6.3. Tárolás alatti rövid idejű keltetés (SPIDES) bevezetése a mechanikai hatással kiváltott károsodás enyhítésére**

A bevezető kísérletek eredményei szerint, ha a mechanikai hatás és a keltetés megkezdése között rövid idő telik el, szignifikánsan ( $P < 0.05$ ) megemelkedik a fejlődési rendellenesség tünetét mutató és korai elhalt embriók aránya.

Ugyanakkor a SPIDES technika növelheti a csírákorong életképességét, ellenálló képességét a rázással szemben.

Ezért egy új kísérletsorozatot terveztem, melyekben a SPIDES-al kezelt tojásokat is bevontam a vizsgálatba.

A gyakorlatban megfigyelt tény, hogy a tojásokat legalább 12 órát pihentetni kell a keltetés megkezdése előtt a korai elhalásból eredő embrionális veszteség csökkentése érdekében (De Lange, 2012). Ennek ellentmondó, új gondolatként merült fel a szállítás közbeni előkeltetés lehetősége a nagy értékű tenyésztojások keltethetőségének megőrzésére.

A nagy értékű nagyszülő- vagy dédnagyszülő-tojásokat hosszú ideig (> 10 nap) gyűjtik az állományok lényegesen kisebb létszáma miatt. A hosszabb ideig tartó tojástárolás során a keltethetőség megőrzésére egyre elterjedtebb módszer a tárolás alatti rövid idejű keltetés (továbbiakban

SPIDES) alkalmazása. Új elgondolásként felmerült, hogy a szállítás alatt is alkalmazható lenne a SPIDES, hovatovább tárolás előtti előkeltetésként is alkalmazható lenne a módszer, ha a szülőpár telep megfelelően nagy távolságra van a keltetőtől, illetve a tojásválogató üzemtől (Lohmann, 2015).

Mivel azonban a SPIDES alatt a csírákorongban a sejtek újra osztódásnak indulnak, a korai elhalt embriók és a fejlődési rendellenességek aránya emelkedhet a kromoszómák sejtosztódás alatti nagyobb érzékenysége miatt.

A vizsgálat célja annak megállapítása volt, hogy a szállítás során fellépő mechanikai hatást a CFM géppel modellezve, milyen mértékű a kelési eredmény-csökkenés a különböző genetikai vonalaktól származó tojásokban, és mi történik, ha a csírákorongot a tárolás alatti előzetes keltetés (SPIDES) alkalmazásával újra barázdálódásra készítjük.

Mivel a kísérlet során arra kerestem a kérdést, hogy a SPIDES kezelés milyen mértékben befolyásolja a keltethetőséget, a SPIDES után még melegen, CFM géppel kezelt tojásokat a mechanikai hatást követően azonnal keltetőgépbe raktam.

Annak érdekében, hogy több tojással végezhessük a kísérletet, a 7. kísérletben 3 nap gyűjtési periódussal dolgoztam. A kísérlet megbízható kiértékelése érdekében a kezelési egységeket az egy napon termelt tojásokból állítottam össze. Anyai vonalból 3x1800 tojást, apai vonalból 3x600 tojást használtam fel a kísérletben.

A tojások a megtermelést követő 4., 5., vagy 6. napon kapták meg az előzetes keltetést (SPIDES). Keltetésük egyszerre indult, a megtojástól számított 8-9-10. napon.

A tálcákon nem kevertem a tojást. Ez kezelésként 12 tálca, tehát 4 tálca minden napon anyaiiban. Apaiban volt átfedés, ahogy tálcákra kerültek.

3. táblázat:

7. kísérlet - A kísérleti csoportok kialakítása

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
SPIDES	-	-	+	-	-	+
CFM	-	+	+	-	+	+
Vonal	FL	FL	FL	ML	ML	ML

Vonal: FL- anyai, ML- apai

### *SPIDES kezelés*

A tojások SPIDES kezelését az Aviagen Tech – Hatchery How Tos No09 How To Improve Hatchability Stored Eggs: „Hogyan javítsuk a tárolt tojások keltethetőségét...Hogyan? No.9.” alapelveit követve végeztem. A tojásokat 37,8 °C (100°F)-ra felfűtött előkeltető gépbe helyeztem 4 óras időtartamra. Így biztosítottam a 3 órán át a 32 °C fölötti héj hőmérsékletet. A megfelelő hőkezelést Tinytag TK-4023 hőmérséklet rögzítő loggerrel ellenőriztem.

### *Modellezés CFM géppel*

A SPIDES alkalmazásának feltétele, hogy a tojások egyenletes és egyforma hőkezelést kapjanak, ezért a tojásokat műanyag tálcán (60-as, önhordó Petersime tálca) helyeztem az CFM gépre, hogy modellezzük a szállítási körülményeket. A tálcák kehelykialakítása megegyezik a szállításra is használt Petersime tálcáéval. 10 Hz-en rázattam a tojásokat, ami során maximum  $14,22 \text{ m/s}^2$  x tengely irányában mért maximális gyorsulást (MAXx) és  $9,55 \text{ m/s}^2$  RMSx-et mértem.

29. kép: Önhordó tálcák (Forrás: saját fotók)



Egyszerre 150 tojást kezeltem, alegységenként 5 perc behatási időt alkalmaztam.

Az volt a terv, hogy legalább két különböző szintű mechanikai hatást modellezek ezen a tálcán, de csak 10 Hz-en lehetett kezelni a tojásokat, mivel ennél nagyobb vibráció esetén a tojások lerázkódtak a tálcáról. A 4. kísérletben leírt tálcá-összehasonlítás alapján, a vizsgált tálcák közül az előkeltebb tálcák érintkeznek a legkisebb felületen a tojással, anyagát tekintve is ez a legmerevebb, így feltételezhető volt, hogy a legalacsonyabb mértékben tudja csillapítani a mechanikai hatást.

#### *Adatgyűjtés*

Az előző kísérletekben szerzett tapasztalatok alapján részletesebb analízisnek vettem alá a tálcán maradt, majd feltört tojásokat. A kísérletben a meglévők mellett új embrióvizsgálati kategóriákat vezetünk be az alábbiak szerint:

1. rendellenes fekvésű embriók (28. kép)
  1. típusú rendellenes fekvés – Fej a combok között (BL)
  2. típusú rendellenes fekvés – Fej a tojás hegyes pólusában (UD)

3. típusú rendellenes fekvés – Balra fordított fej (LW)

6. típusú rendellenes fekvés – Csőr a jobb szárny felett (HAW)

2. HOV – élő embrióra vetített keltethetőség

Először többtényezős varianciaanalízist futtattam, amelyben több függő tényező (vonal, vibráció és a SPIDES) együttes hatása vizsgálható több változó alakulására (HOF, EDoF, MDoF, LDoF, MALPoF, MALFoF):

### **3.6.4. Különböző mértékű mechanikai hatások és a SPIDES vizsgálata**

A 8. kísérletben két különböző tárolási időszakot vizsgáltam ebben a kísérletben apai és anyai vonalú tojásokkal, amelyeket mechanikai behatással, illetve egy, vagy hosszú tárolás esetén két SPIDES beiktatásával kezeltem. A kontroll csoportban is szerepelt hosszú és rövid tárolású tenyésztótojás.

A kísérlet célja annak meghatározása volt, hogy a mechanikai kezelés és a hosszabb tojástárolás negatív hatását mennyire ellensúlyozza a SPIDES.

A 8. kísérletben a vibrációs csoport tojásait vizsgáltam 5,5 és 4,5 óras közúti szállítás során, a keltetőben használt előkeltető tálcán.

A kezelést kétszer alkalmaztam, egyszer a keltetést megelőzően a SPIDES kezelése után, másodszor a bújtatógépbe rakás előtt, kísérleti csoportonként 300 tojás, összesen 4200 tojás részletes törési és keltetési vizsgálatával.

Két ponton rögzítettem HOBO adatrögzítő loggert az előkeltető kocsira, amin a kísérleti tojásokat szállítottam, a mechanikai hatás pontos mérése érdekében.

4. táblázat 8. kísérlet - Kísérleti csoportok kialakítása

	>7 nap tárolás	SPIDES	Szállítás	Vonal
1.	-	-	-	FL
2.	-	1x	-	
3.	-	1x		
4.	+		--	
5.	+	1x	+	
6.	+	1x	+	
7.	+	2x	+	
8.	-		-	ML
9.	-	1x	-	
10.	-	1x	+	
11.	+		-	
12.	+	1x	-	
13.	+	1x	+	
14.	+	2x	+	

Vonal: FL- anyai, ML- apai

Mivel több független változó hatását vizsgáltuk több függő változóra, adataimat többváltozós varianciaanalízissel (MANOVA Multivariate Analysis Of Variance) értékeltem.

A mechanikai hatás mértéke függ a szállítójármű felfüggesztésének típusától (lap vagy légrugós), az útviszonyoktól és a vezetési stílustól.

A felfüggesztés az x irányú elmozdulást, a vezetési stíluson belül az y irányú a gyorsulást, fékezést, míg a z irányú az oldalirányú elmozdulást befolyásolja. Ahogy azt Walber és Tamagna (2010) leírta, vertikális a gyorsulás iránya amikor a jármű pl. bukkanón vagy kátyún hajt át (-x; x);

longitudinális, amikor hirtelen fékezés történik (-y; y); horizontális, amikor a test laterálisan mozdul el, pl. ívben történő haladásnál (-z; z).

A záró, 9. kísérletben a kísérleti csoportokat faktoriális kísérleti elrendezésnek megfelelően osztottam el. A vizsgálatokban összesen 8100 tenyésztő szerepelt, a 11. táblázatban bemutatott kombinációkban. Mechanikai hatásnak tettem ki a tojásokat mind szállítójárművön mind CFM gépen. Vizsgáltam a SPIDES kezelés és a 18 napig előkeltetett tojások szállításának hatását a keltethetőségre.

A kísérletben emellett ellenőriztem a szikhártyához tapadt embriók arányát is. Tudjuk, hogy a tárolás alatti forgatás egyik jótékony hatása az, hogy a csírákorong nem tapad le. Mivel az előző kísérleteknél megfigyeltek szerint – akkor nem számszerűsítve – alacsonyabb volt a rázással kezelt tojásokban a letapadt embriók aránya, ez felvet egy nagyon érdekes hipotézist. Elképzelhető, hogy amennyiben az előkeltetett tojásokat istállóban keltetjük, a szállítás esetleges negatív hatása ellensúlyozható, ha a keltetés előtt SPIDES kezelést alkalmazunk és a mechanikai hatás mértéke nem haladja meg az itt bemutatott szintet. Azaz a szállítójármű megfelelő rugózású, a szállítóeszköz pedig, amin a tojást szállítjuk (papír, műanyag tojástálca vagy előkeltető tálca), megfelel az útviszonyoknak.

5. táblázat. 9. kísérlet - A kísérleti csoportok kialakítása

	Vonal FL- anyai ML - apai	SPIDES	10 Hz	20 Hz	30 Hz	Szállítás	Forgatás tárolás alatt
1	FL_0_NoSPI_OT_OT						
2	FL_0_SPI_T	+				+	+
3	FL_10_SPI_T	+	+			+	+
4	FL_20_SPI_T	+		+		+	+
5	FL_30_SPI_T	+			+	+	+
6	FL_0_NoSPI						+
7	FL_10_NoSPI		+				+
8	FL_20_NoSPI			+			+
9	FL_30_NoSPI				+		+
10	FL_0_NoSPI_T					+	+
11	FL_10_NoSPI_T		+			+	+
12	ML_0_NoSPI_OT_OT						
13	ML_0_SPI_T	+				+	+
14	ML_10_SPI_T	+	+			+	+
15	ML_20_SPI_T	+		+		+	+
16	ML_30_SPI_T	+			+	+	+
17	ML_0_NoSPI						+
18	ML_10_NoSPI		+				+
19	ML_20_NoSPI			+			+
20	ML_30_NoSPI				+		+
21	ML_0_NoSPI_T					+	+
22	ML_10_NoSPI_T		+			+	+

Ebben a kísérletben a SPIDES kezelést a CFM gépen történő rázást követően csak 12 óra elteltével kezdtük meg.

A 18 napos szállítást HOBO adatrögzítő loggerekkel monitoroztam.

A 9. számú kísérletben ellenőriztem a szikhártyához tapadt embriók arányát. Mint említettem, a tárolás alatti forgatás egyik jótékony hatása, hogy a csírákorong nem tapad le. Az előző kísérletekben megfigyeltem, hogy a rázással kezelt tojásokban a letapadt embriók aránya kisebb. Ha ez bebizonyosodik, megoldást jelenthet a tojások gyengéd rázása akár raklapon, amennyiben nincs lehetőség a minél előbbi feltálcázásra előkeltető kocsi, hogy utána legalább naponta kétszer forgatni tudjuk. Ezért a kísérletbe bevontam a tárolás alatti „forgatott” és „nem forgatott” kezelést is.

A kísérlet során kapott adatokat először Pearson korrelációelemzésnek vettem alá, hogy a kezelések és hatásuk között feltérképezhető legyen az összes lehetséges összefüggés. A kapott Pearson-féle korrelációs együttható a lineáris kapcsolat szorosságát és a kapcsolat jellegét tükrözi. A korrelációs mátrix összeállításához a „Cran and R project corplot package” által bemutatott ábrázolási technikát alkalmaztam.

## 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 4.1. Üzemi körülmények között végzett mérések és értékelésük

Előzetes méréseket végeztünk, üzemi körülmények között, TGP-0605 loggerek alkalmazásával, amely során, összesen 41 közúti szállítás során ellenőriztük a szállítást és elemeztük a tojástörést és egyéb feltételezett kelési veszteségeket, mint például a korai stádiumban elpusztult embriók arányát és a kelési eredményt. termékeny tojásonként és élő embriónként. Mivel a tojás kezdeti paraméterei is befolyásolják a kiszállítás és a keltethetőséget (állomány kora, feltételezett tojáshéj minősége, tárolási idő), ezeket az információkat rögzítettük az adatbázisban. A klimatizált szállítójárműveket hőmérséklet-figyelő naplózókkal is ellátták, de a mért hőmérséklet minden esetben a céltartományban maradt, így a vizsgált paraméterekre nem volt hatással.

#### 4.1.1. Tinytag adattörzítő/logger üzemi mérések

A Tinytag loggerek által mért gyorsulás (TGP-0605) és a vibrációértékek (TGP-0650) között erőteljes, szignifikáns ( $P < 0,01$ ) korreláció<sup>3</sup> állt fenn a modellező gépen, de gyakorlati körülmények között ezt nem sikerült megerősíteni.

- Vibráció és a B tengelyen mért gyorsulás közt (B)  $r = 0,77$
- Vibráció és az A-tengelyen mért gyorsulás közt (A)  $r = 0,64$
- Vibráció és a C tengelyen mért gyorsulás közt (C)  $r = 0,43$

Az adatokból az alábbi regressziós egyenessel becsülhető a vibráció értéke a három irányban mért gyorsulásból:

$$\text{Vibráció} = 0,113 A + 0,531 B - 0,169C + 2,616; R^2 = 0,62$$

---

<sup>3</sup> Pearson féle korreláció

Amennyiben csak egy logger áll rendelkezésünkre és a vibrációra szeretnénk adatgyűjtést végezni, a Tinytag loggert a B pozíciónak megfelelően helyezzük el. az alábbi egyenlet használható:

$$\text{Vibráció} = 0,526B - 0,389; R^2 = 0,604$$

A közúti szállítási adatokból számított négyzetes középérték 4,1-39,9 m/s<sup>2</sup> között változott.

A szállítójárművön a rakomány tömege szignifikáns ( $P < 0,05$ ) hatással volt az RMSy és RSS számított adatokra és azok eloszlására a különböző mérési tartományokban, a törött tojások arányára és a kelési paraméterekre.

A vezetési idő szignifikáns ( $P < 0,05$ ) különbséget mutatott a számított átlag és g-erő tekintetében 30 m/s<sup>2</sup> alatt, de a legtöbb keltetési paraméterre nem volt szignifikánsan kimutatható hatással.

Ugyanakkor az évszak csak a MAXz mérési érték gyakoriságával mutatott szignifikáns eltérést ( $P < 0,05$ ), de ez minden keltetési paraméterre hatással volt ( $P < 0,01$ ).

Mivel az adatok nagy szórást mutattak, ezért a szállítás modellezésére alkalmas gépre volt szükség, ahol ismételhető és jobban kontrollálható a mechanikai hatás mértéke, mint üzemi körülmények között.

#### **4.1.2. HOBO adatrögzítő/logger üzemi mérések**

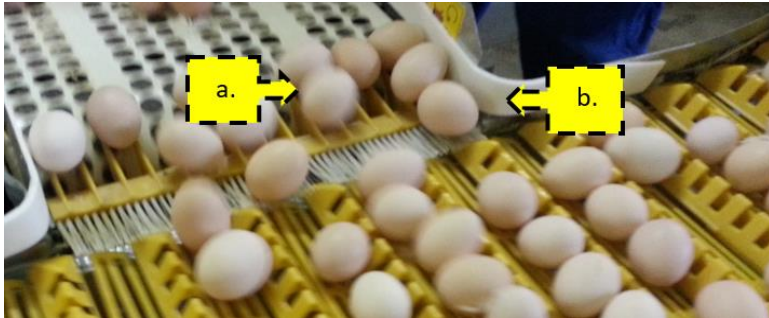
Az adatokból látható, hogy a legnagyobb mechanikai hatás nem feltétlenül a szállítás alatt történik.

6.táblázat: Különböző tojáskezelési folyamatok összehasonlítása

Mérési pontok	RSS (m/s <sup>2</sup> )
Tojásszedés, gyűjtés, tálcázás automatizálása	
- Tojásgyűjtő szalag az istállóban	10,1-11,1
- Tojásgyűjtő tálca az istálló előtt	10,5-10,6
- Összehordó szalag az istállók között	10,2-10,8
- Automata tálcázó	10,1-10,9
Tojásbeszállítás, laprugós szállítójárművön, előkeltető tálcán	10,07
Tojásbeszállítás, laprugós szállítójárművön, papírtálcán	9,88
Tojásbeszállítás, lérugós szállítójárművön, előkeltető tálcán	9,97
Tojásbeszállítás, lérugós szállítójárművön, papírtálcán	9,79
Lerakodás a keltetőben	9,22-12,88
Előkeltetett tojás átrakása előkeltető tálcáról utókeltető tálcára a keltetés 18. napján, félautomata átrakó géppel	10,9
Istállóban történő keltetés, előkeltető tálcák mozgatása, behúzatás a rendszerbe	10,09
Napocsibe-szállítás lérugós járművön, papír szállítódobozban	9,42

Ahogy azt Carter már 1970-ben leírta, a tojásgyűjtő szalag megfelelő sebességének beállításával (30.a kép), illetve az ütközési pontok kipárnázásával (30.b. kép) mérsékelhető a tojások egymáshoz vagy kemény felülethez csapódásból eredő lámpatörötték szintje.

30..a,b kép: Automata tojásgyűjtő szalagon kiérkező tojások



Forrás: saját fotó

Ernst és Johnston (1977) elgondolása szerint a tojáshéj sérülésének törésképei információt adhatnak arról, hol és milyen behatásra tört el a tojás, ami napjainkban is eredményesen használható a kritikus pontok megállapítására (30. a,b kép).

31. kép. A tojáshéj törését okozó technológia és az okozott töréskép



Forrás: saját fotó

Nem szabad elfelejteni, hogy az automatizálás a keltetés alatt is okozhat keltetési veszteséget. Például, ha az automata lámpázó- vagy átrakógép nem kezeli gyengéden a tojásokat (32. kép)

32. kép: Tipikus átrakáskori törésképek



Forrás: saját fotók

Ez megegyezik az Aviagen (2015) Tech: BestPractice-HatcheryTransfer-2015: Legjobb eljárások a keltetőben – „Átrakás” dokumentumban lévő képekkel. Elkülönítésük lényeges volt, hogy ne befolyásolja a vibráció által sérült tojások vizsgálati eredményét.

A kísérleti csoportok tojásaiból a kezelések előtt eltávolítottam a keltetőbe érkezés előtt sérült tojásokat. Mivel ugyanannak az állománynak a tojásait vontam kísérletbe, a beérkezésig ugyanazok a hatások érték a kontroll és a kezelt csoportokat.

20 és 30 Hz történő kezelés hatására jellegzetes pókhálószerű törésképek jelent meg a tojáshéjakon. Ez egyes esetekben nagyon jól látható a törésvonalak mentén a tojásfehérjéből történő vízkilépés okozta elszíneződés miatt (33. kép). Egyes esetekben héjfolytonosság-hiány is

kialakul, a héj leválik a héjhártyáról és a papírtálca alján árulkodó törmelék látható (34. kép).

33. kép: 20 és 30 Hz-en végzett kezelés (3. kísérlet) hatására kialakult pókhálószerű töréskép (Forrás: saját fotó)

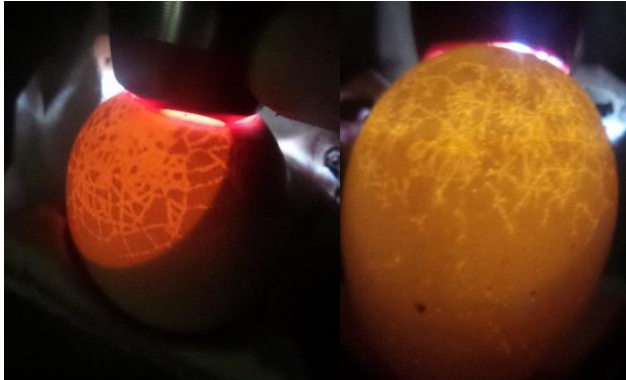


34. kép: 20 és 30 Hz-en végzett kezelés hatására kialakult pókhálószerű töréskép és héjfolytonosság-hiány (Forrás: saját fotó)



Lámpázáskor is jól látszik, mind a terméketlen (35. kép – jobb) mind az élő embriót tartalmazó tojáson (35. kép – bal) a pókhálós töréskép. Az élő embriót tartalmazó, de a képen láthatóan károsodott héjú tojásokban az embriók előbb utóbb elhalnak vagy befulladásnak a bakteriális fertőződés vagy a túlzott mértékű dehidratáció miatt.

35. kép: Pókhálós töréskép lámpázáskor



Forrás: saját fotó

Ez a pókhálós töréskép megegyezik a 3 napos szállítást követően Oroszországba érkezett tojások törésképével (36.kép)

36. kép: Oroszországba érkezett tojás törésképe



Forrás: saját fotó

## 4.2. Tojásgyűjtő-, szállító- és keltetőtálca vizsgálata

A milliméterpapírral végrehajtott felületnagyság becslés elemzése alapján, ha a papírtálccával történő érintkezési felületet tekintjük 100 %-nak, akkor számszerűsítve a sorrend a következő:

12,8 % < 32 % < 36 % < 100 %, azaz

60 db-os előkeltető tálca < S-M tojások szállításra javasolt 30 db-os műanyag tálca < M-L tojások szállítására javasolt 30 db-os műanyag tálca < 20 librás, 30 db-os papírtálca. Azaz a 60 db-os előkeltető tálca tojással érintkező felülete kb. 12,8%-a a papírtálcháoz viszonyítva.

A loggereredményekből számított RSM<sub>y</sub> érték szoros, szignifikáns korrelációt (-0,753, P < 0,05) mutatott a tálca típusával, azaz a 26. képen látható, feketével jelölt előkeltető tálca esetén a legmagasabb az y irányú elmozdulás négyzetes középértéke.

Erre hívták fel a figyelmet Randall és munkatársai (1993), akik megfigyelték, hogy a műanyag tálcán a tojás folyamatosan neki ütődik a tálca oldalának, ami így károsíthatja a tojáshéjat.

A tálca és a becsapódási felület, az alábbi loggereredményekkel és számításokkal mutatott szignifikáns korrelációt:

- Minden irányban történő elmozdulás négyzetes középértékével; RSS ( $r^4 = -0,687$ , P < 0,05)
- Horizontális, y tengely irányában, ami a becsapódáskori megbillenésnek tulajdonítható; RSM<sub>y</sub> (r = 0,613, P < 0,05) és ezzel összefüggésben a MAX<sub>y</sub> (r = 0,642, P < 0,05) és MIN<sub>y</sub> (r = -0,706, P < 0,05).

---

<sup>4</sup> Pearson féle r

- Minimum  $x$  értéke, azaz  $-x$ , ami a hirtelen megállás a függőleges irányba, ez tulajdonképpen a klasszikus becsapódási erő iránya,  $MINx$  ( $r = -0,678, P < 0,05$ ).

Legszorosabb összefüggést, azonban a laterális elmozdulás  $-z$  értéke adta,  $MINz$  ( $-0,875, P < 0,01$ ). Ettől nem sokkal marad el a  $+z$  érték,  $MAXz$  ( $0,626, P < 0,05$ ).

Carter már 1970-ben leírta, hogy attól is függ a tojás károsodása, hogy milyen keménységű felületnek ütközik az automata tojásgyűjtés, tojáskezelés során. Ha azonban láttunk már vasúti átjárón tojásszállító autót nagy sebességgel áthaladni, akkor könnyen belátható, hogy a felület, aminek ütközik, az maga a tálca, ezért annak fizikai tulajdonságai (rugalmasság, elaszticitás, merevség) növelhetik vagy tompíthatják az így bekövetkező fizikai behatást.

Ez lehet a magyarázat az 5. kísérletben megfigyelt keléscsökkenésre .

### 4.3. Kísérletek eredményei

#### 4.3.1. CFM gép alkalmasága a szállítás modellezésére

A bevezető kísérletekben (1-3. kísérlet) arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a CFM gép alkalmas-e a szállítási körülmények modellezésére, illetve, hogy a gép által közölt mechanikai hatás milyen mértékben rontja a kelést és melyek lesznek a keléscsökkenés fő okai. Az 1.-2. kísérletben a CFM gépet úgy állítottam be, hogy 10 és 30 Hz között periodikusan változó rázásnak tegye ki a tojásokat.

Tinytag loggerekkel mért átlag értékek A: 9,49; B: 12,98; C: 23,37  $m/s^2$ .  
RSS: 34,3; RSMa: 11,83; RSMb: 27,83; RSMc: 16,229  $m/s^2$ . Az átlag vibráció 7,41 mm/s.

$RSMx = 3,65 m/s^2$ ,  $MAXx = 15,77 m/s^2$  (1,6 g).

A 3. kísérletben a CFM gépet 20 és 30 Hz vibrációra állítottam.

Tinytag loggerekkel mért átlag értékek 20 Hz-en A: 15,38 B: 20,19 C: 41,93  $\text{m/s}^2$ . RSS: 29,39; RSMa: 7,83 RSMb: 25, 21 RSMc: 12,7  $\text{m/s}^2$ . Az átlag vibráció 6,24 mm/s.

30 Hz-en átlag értékek A: 37,4 B: 32,94 C: 45,06  $\text{m/s}^2$ . RSS: 72,34; RSMa:40,9 RSMb: 46,8 RSMc: 36,9  $\text{m/s}^2$ . Az átlag vibráció 17,38 mm/s.

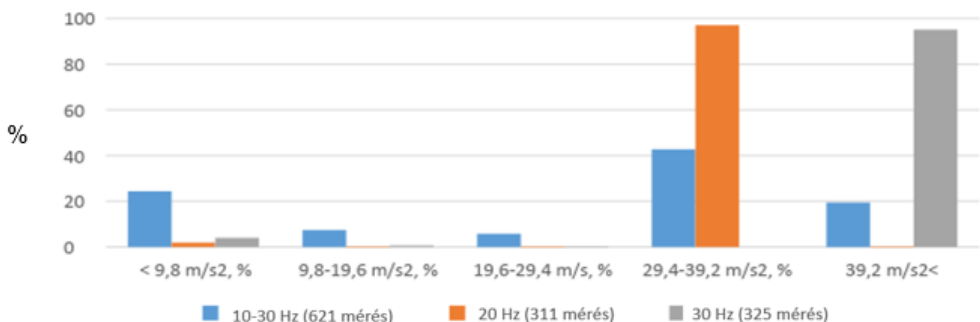
20 Hz –en:  $\text{RSM}_x = 3,74 \text{ m/s}^2$ ,  $\text{MAX}_x = 29,4 \text{ m/s}^2$  (3 g).

30 Hz –en:  $\text{RSM}_x = 45,68 \text{ m/s}^2$ ,  $\text{MAX}_x = 49 \text{ m/s}^2$  (5 g).

Sajnos a HOBO loggerekkel mért adatok nem minden aspektusból vethetők össze a Tinytag logger adataival, mert nem minden tengely egyezik meg a HOBO logger tengelyeivel. Másrészt a Tinytag loggerek nem mérik a negatív irányba történő elmozdulást, ezért szereztem be és használtam HOBO loggereket a mechanikai hatás mérésére a későbbi kísérletekben.

Az 1. ábrán látható, hogy a kezelések alatti %-os gyakoriság az egyes nehézségi gyorsulási sávokban több információt ad a mechanikai behatás mértékéről, mint az összes behatás száma.

1. ábra: A kezelések alatti %-os gyakoriság az egyes nehézségi gyorsulási sávokban




**1. kísérlet: 10-30 Hz közötti, periodikus mechanikai hatás**

Az 1. kísérletben a kezelt tojások keltethetősége alacsonyabb volt, mint a kontroll tojásoké, amit az okozott, hogy minden életszakaszban magasabb arányú embrionális elhalást, több hajszálrepedt/törött tojást, több rendellenes fekvést, továbbá magasabb arányú torzképződmény-előfordulást tapasztaltam.

A csoportok csak a torz embriók arányában mutatott ki szignifikáns ( $P < 0.05$ ) eltérést (7. táblázat).

7. táblázat: A 10-30 Hz közötti, periodikus mechanikai kezelés hatása a tojások keltethetőségére és a tojástörési eredményekre a kísérleti és a kontroll csoportokban

	Kontroll (n= 2100)	Periodikusan változó, 10-30 Hz között (n= 2100)
HOF%	61.78 <sup>a</sup> ±13.45	55.47 <sup>a</sup> ±13.62
EDoF%	18.80 <sup>a</sup> ±7.04	23.56 <sup>a</sup> ±8.59
MDoF%	0.59 <sup>a</sup> ±0.61	1.34 <sup>a</sup> ±0.93
LDoF%	11.64 <sup>a</sup> ±5.8	14.66 <sup>a</sup> ±5.8
CR %	3.00 <sup>a</sup> ±2.10	3.29 <sup>a</sup> ±2.21
MALFoF%	1.12 <sup>a</sup> ±0.63	2.28 <sup>b</sup> ±0.97
MALPoF%	5.17 <sup>a</sup> ±2.52	5.50 <sup>a</sup> ±3.03


<sup>a,b</sup> Az eltérő betűvel jelölt értékek szignifikáns különbséget mutatnak ( $P < 0.05$ ).

## 2. kísérlet: 10-30 Hz közötti, periodikus mechanikai hatás

A 2. kísérletben minden kezelt csoport alacsonyabb keltethetőséget és magasabb embrionális elhalást mutatott, mint a kontroll, minden életszakaszban. Az 1. kísérlethez hasonlóan több volt a hajszálrepedt/törött tojás, a rendellenes fekvés és torzképződmények nagyobb arányban fordultak elő.

Az adatok ebben az esetben a korai elhalt embriók és a rendellenes fekvésű embriók esetében mutatott szignifikáns ( $P < 0.05$ ) eltérést (8. táblázat). A torz embriók 2. kísérletben tapasztalt, az 1. kísérlethez viszonyított kisebb arányú előfordulása a tojások 3 napos pihentetésével magyarázható.

8. táblázat: 10-30 Hz közötti, periodikus mechanikai kezelés hatása a tojások keltethetőségére és a tojástörési eredményekre a kísérleti és a kontroll csoportokban

	Kontroll (n= 2100)	Periodikusan változó, 10-30 Hz között (n= 2100)
HOF%	80.06 <sup>a</sup> ±3.17	59.09 <sup>a</sup> ±8.11
EDoF%	9.00 <sup>a</sup> ±2.97	21.68 <sup>b</sup> ±5.29
MDoF%	0.61 <sup>a</sup> ±0.56	0.96 <sup>a</sup> ±0.95
LDoF%	7.94 <sup>a</sup> ±1.87	13.85 <sup>a</sup> ±4.04
CR %	0.62 <sup>a</sup> ±0.81	4.24 <sup>a</sup> ±2.21
MALFoF%	0.55 <sup>a</sup> ±0.57	1.32 <sup>a</sup> ±1.12
MALPoF%	2.22 <sup>a</sup> ±1.12	4.21 <sup>b</sup> ±1.51

<sup>a,b</sup> Az eltérő betűvel jelölt értékek szignifikáns különbséget mutatnak ( $P < 0.05$ ).

### 3. kísérlet: 20 és 30 Hz állandó mechanikai hatás

Mivel az első 2 kísérlet eredményei ellentmondásosak voltak, beállítottam a 3. számú kísérletet, amelyben a tojásokat 10 percen át különböző szintű, állandó vibrációnak (20 illetve 30 Hz) tettem ki, melynek loggerekkel mért mechanikai hatását az 6. táblázatban mutatom be

9. táblázat: Állandó vibráció mechanikai hatása - loggerek által mért adatok eredménye

	20 Hz	30 Hz
RSS, $m/s^2$	29,39	72,34
RSMa, $m/s^2$	7,83	40,9
RSMb, $m/s^2$	25,31	46,85
RSMc, $m/s^2$	12,7	36,94
RSMa, átlag $m/s^2$	15,38	37,41
RSMb, átlag $m/s^2$	20,19	32,94
RSMc, átlag $m/s^2$	41,99	45,06
Vibráció, átlag mm/s	6,25	17,38


A három kísérleti csoport beállítása ANOVA statisztikai módszer alkalmazását tette lehetővé, ami  $P < 0.05$  szinten (Tuckey t-teszt) szignifikáns eltérést mutatott ki az alábbi megfigyelt tulajdonságokban:

- termékeny tojásra vetített keltettségben (HOF%) mindkét kezelt csoport és a kontroll csoport között, valamint a két kísérleti csoport között,

- termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók (EDoF%) és középidoős elhalt embriók (MDoF%) arányában: a kontroll csoport és 30 Hz-en rázott kísérleti csoport tojásai között, valamint a két kísérleti csoport között,
- termékeny tojásra vetített torzképződmények (MALFoF%): a kontroll csoport és 30 Hz-en rázott kísérleti csoport tojásai között.

10. táblázat:

Keltethetőség és tojástörési eredmények a kísérleti és a kontroll csoportokban (a 3. kísérlet eredményei)

	Kontroll (n=1350)	20 Hz (n=1350)	30 Hz (n=1350)
HOF%	80.7 <sup>a</sup> ±1.39	76.8 <sup>b</sup> ±2.97	64.8 <sup>c</sup> ±4.27
EDoF%	9.66 <sup>a</sup> ±1.74	11.15 <sup>a</sup> ±3.12	19.52 <sup>c</sup> ±4.76
MDoF%	0.56 <sup>a</sup> ±0.70	0.39 <sup>a</sup> ±0.37	1.68 <sup>c</sup> ±0.88
LDoF%	2.99 <sup>a</sup> ±1.16	2.92 <sup>a</sup> ±1.69	4.69 <sup>a</sup> ±2.44
CR %	1.78 <sup>a</sup> ±0.89	1.50 <sup>a</sup> ±0.89	1.50 <sup>a</sup> ±0.88
MALFoF%	0.55 <sup>a</sup> ±0.59	1.27 <sup>ab</sup> ±1.06	1.85 <sup>bc</sup> ±0.77
MALPoF%	1.89 <sup>a</sup> ±1.27	3.37 <sup>a</sup> ±1.84	3.20 <sup>a</sup> ±0.97

<sup>a,b</sup> Az eltérő betűvel jelölt értékek szignifikáns különbséget mutatnak ( $P < 0.05$ ).

A bevezető kísérletsorozat kelési eredményeiben csak a 3. kísérletben tapasztaltam szignifikáns csökkenést (80.75<sup>a</sup>±1.39 vs. 76.80<sup>b</sup>±2.97 vs. 64.89<sup>c</sup>±4.27), ami főként a korai embrióelhalások növekvő gyakoriságának tulajdonítható. A gyakorlati tapasztalatok alapján magasabb korai embrióelhalásra számítottam. A 2. kísérlet (9.00<sup>a</sup>±2.97 vs. 21.68<sup>b</sup>±5.29) és a 3. kísérlet 30 Hz –en rázatott csoportjában (9.66<sup>a</sup>±1.74

vs.  $19.52 \pm 4.76$ ) szignifikáns emelkedést tapasztaltam ebben a kategóriában. Besch és munkatársai (1965b) munkájukban azt a megállapítást tették, hogy a gyorsulási erőnek kitett blasztoderma sejtek átrendeződhetnek, egy részük leválhat a blasztodermáról. Ugyan a kísérletben használt gyorsulási erő nem fordul elő gyakorlati körülmények között, kétségtelen, hogy egyes esetekben nem csak a blasztoderma sejtjei, hanem a szikhártya megrepedése miatt az egész tojásszik áthelyeződhet. De Lange (2012) cikkében arra utal, hogy szállítást követően legalább 12 órát pihentetni kell a tojásokat a keltetés beindítása előtt, ellenkező esetben a korai elhalt embriók aránya megemelkedhet.

Az 1. és 3. kísérletben a kezelést követő napon, 24 órán belül megkezdődött a tojások keltetése, míg a 2. kísérletben 3 nap telt el a kezelés és a keltetés beindítása között. Hogy a hosszabb tárolás milyen irányba befolyásolja a rázkódásnak kitett tojások keltethetőségét, azt a 8. és 9. kísérletben vizsgáltam.

A 3. kísérletben a középidoő embriók arányában ( $0.56 \pm 0.70$  vs.  $1.68 \pm 0.88$ ) tapasztalt szignifikáns különbség a 30 Hz-en rázott és a kontroll csoport között váratlanul ért, mivel ebben az életszakaszban az embriók ellenállóbbak, és az embrionális elhalások aránya a legalacsonyabb.

Az a tény, hogy a bevezető kísérletsorozatban nem tapasztaltam szignifikáns emelkedést a késői elhalt embriók arányában, szintén a gyakorlati megfigyeléseket tükrözi, bár Donofre (2017) szerint, a mechanika hatás a késői elhalt embriók arányát jelentősen megemeli.

Besch és munkatársai (1965a) munkájuk során azt tapasztalták, hogy a kelési veszteség leginkább a héjra nehezedő erő miatt fellépő sérülésekből adódott. A jelen kísérletben a kelési veszteség nagyobb része nem ennek

tudható be, mivel nem találtam szignifikáns összefüggést a kísérleti és a kontroll csoportok között. Valószínűleg ehhez az is hozzájárul, hogy a kísérletekben fiatal állományoktól származó tojásokat használtam, amelyek héja köztudottan erősebb.

Mivel az apai és az anyai vonalak héjminőségében is lehet eltérés, ezt a 7., 8., 9. kísérletben szintén vizsgáltam.

A torzképződmények aránya szignifikánsan ( $P < 0.05$ ) megemelkedett az 1. kísérletben ( $1.12 a \pm 0.63$  vs.  $2.28b \pm 0.97$ ) és a 3. kísérletben ( $0.55 a \pm 0.59$  vs.  $1.85 bc \pm 0.77$ ).

Magyarázat erre már Dareste 1800-as években írt munkáiban is található, aki leírta, hogy ha a tojásokat a szállítást követően 2 napig állni hagyjuk, az embriófejlődés normális, míg a szállítást követően azonnal keltetett tojásokban abnormális. Az 1. és 3. kísérletben a tojások keltetését egy napon belül megkezdttem, míg a 2. kísérletét csak 3 nappal a kezelést követően.

Tullett (2009) munkájában bizonyos torzképződeményekről, fejlődési rendellenességekről (szám feletti lábak és szárnyak) azt írta, hogy megjelenésükkel akkor számolhatunk, ha a tojáskezelés durva, és a tojásgyűjtés és/vagy szállítás során rázkódnak a tojások.

A bevezető kísérletsorozatban a különböző típusú torzképződeményeket nem regisztráltam külön csoportokban, de a késői elhalt embriók között szám feletti végtaggal rendelkezők és az arckoponya duplikáció tünetei is megjelentek.

Lauder (1943) munkájában a farkatlanság arányának emelkedését, mint torzképződeményt is a rázkódásnak tulajdonította, de a tojástörés és a selejt csibék vizsgálata közben ezzel nem találkoztam.

A 2. kísérletben a rendellenes fekvésű embriók aránya szignifikánsan megemelkedett ( $2.22 \text{ a} \pm 1.12$  vs.  $4.21 \text{ b} \pm 1.51$ ), ami annak tulajdonítható, hogy a rázkódás miatt a kis tömegű tojások megfordultak a tálcán. Ez a 2. típusú rendellenes fekvés – fej a tojás hegyes pólusában – arányát növeli, hiszen a fejjel lefelé tálcázott tojásban az embrió is fejjel lefelé fog helyeződni a kikelést megelőzően. Ebben az esetben a légkamra a talpa alá kerül és belső pattogzás nem következik be. A belső pattogzás kritikus fázis, hiszen az első lélegzetvételhez a levegő a légkamrából oxigént biztosít a kikelés izommunkájához. Ez a felvetés a későbbi kísérletekben nyert bizonyítást.

### ***Összegzés***

A kísérletek megerősítették, hogy a CFM gép alkalmas olyan mechanikai hatás közlésére, amely a szállítási körülményeket modellezi, a hatások ismételhetők, mértékük fokozatos emelhető és a kezelések közti különbségek statisztikai módszerekkel igazolhatók.

A keltethetőség szignifikánsan csökkent a 3. kísérletben ( $80.75 \text{ a} \pm 1.39$  vs.  $76.80 \text{ b} \pm 2.97$  vs.  $64.89 \text{ c} \pm 4.27$ ), ami annyit jelent, hogy papírtálcán közölt  $\text{MAX}_x=29,4 \text{ m/s}^2$  és  $\text{RSM}_x=3,74 \text{ m/s}^2$  már szignifikáns keltethetőség romlást váltott ki.

A keltethetőség csökkenés főként a keltetés korai szakaszában elhalt embriók emelkedésének tulajdonítható. Ez a jelenség megegyezik a gyakorlati tapasztalatokkal. Bár a korai elhalt embriók arányában észlelt különbség szignifikáns a 2. kísérletben ( $9,00 \text{ a} \pm 2,97$  vs.  $21,68 \text{ b} \pm 5,29$ ) és a 3. kísérlet 30 Hz –en rázott tojásainak eredményeiben ( $0,55 \text{ a} \pm 0,59$  vs.  $1,85 \text{ bc} \pm 0,77$ ) magának a blasztodermának a mikroszkópos vizsgálata pontosabb képet adna arról, hogy mi is történik sejtszinten. Ez a

$MAX_x=15,77$  és  $49 \text{ m/s}^2$  illetve  $RSM_x=3,65$  és  $45,68 \text{ m/s}^2$  által kiváltott hatás.

A középidoős elhalt embriók arányában megfigyelt szignifikáns ( $0.56^{a\pm 0.70}$  vs.  $1.68^{c\pm 0.88}$ ) különbség a 3. kísérlet kontroll és 30 Hz-en rázott tojásai közt meglepő volt.

Szignifikáns eltérés nem volt megfigyelhető az 1.-3. kísérlet késői elhalt embrióinak arányában sem, ez szintén tükrözi a gyakorlatban megfigyelteket.

A további kísérletek célja az alábbi hatások alaposabb elemzése, miszerint

- Az 1. kísérletben kapcsolatban állhat e a kezelés és a keltetés indítása között eltelt rövid időtartammal a torzképződmények, fejlődési rendellenességek szignifikánsabb magasabb ( $1.12^{a\pm 0.63}$  vs.  $2.28^{b\pm 0.97}$ ) előfordulása
- A 2. kísérletben megfigyelt szignifikánsan ( $2,22^{a\pm 1.12}$  vs.  $4.21^{b\pm 1.51}$ ) magasabb rendellenes fekvések további vizsgálatra szorulnak. Azonosítani kell a rendellenes fekvés típusát és meg kell figyelni a tojás megfordulását a tálcán.
- Meg kell határozni a torzképződmények alkategóriáit, különös tekintettel a szám feletti végtagok, valamint az arckoponya rendellenességeinek elkülönítését a többi kategóriától.

#### **4.3.2. Különböző behatási (kezelési) idők, tálcátípusok és vonalak vizsgálata**

Ebben a kísérletsorozatban az apai vonal megfigyelésével bővítettem a vizsgált paraméterekeket, mivel a gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy az apai vonalak tojásai érzékenyebben reagálnak a környezeti körülményekre (hosszabb tojástárolás és forgatás elmaradása esetén is

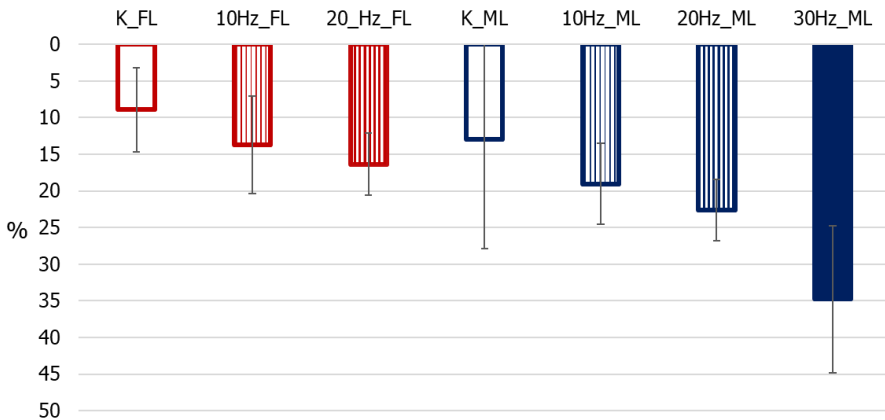
magasabb korai elhalt embrionális elhalást mutatnak, mint az anyai vonalak). A papírtálca mellett műanyag tálcán is megismételtem a vibrációs kezeléseket annak bizonyítására, hogy a csomagolóanyag is befolyásolhatja a káros mechanikai hatásokat.

Csökkentettem a behatás időtartamát, mivel intenzív behatás esetén az időfaktor szinte mindegy, hiszen egy tojást összetörni egy pillanat műve is lehet.

#### **4. kísérlet: Különböző vonalak vizsgálata**

Az elemszám és a kísérlet beállítása sem volt optimális, de előzetes, tájékoztató jellegű információkkal szolgált és alapot adott a további vizsgálatoknak (2. ábra).

2. ábra: A termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók aránya különböző vonalakban és kezelési csoportokban



A gyakorlati tapasztalat, hogy az apai vonal csírákorongja érzékenyebb a környezeti behatásokra, a tojástárolás hossza is jobban megviseli, mint az anyai vonalaktól származó tojásokat.

Papírtálcára helyezve 10, 20 és 30 Hz-re állított CFM gépen ráztam az apai, illetve 10 és 20 Hz-en az anyai tojásokat.

Ez sorrendben 1,73; 10,43; 39,93 m/s<sup>2</sup> RSMx-et, míg az x tengely irányában elért maximális nehézségi gyorsulás (MAXx)10 Hz esetén 15,77, 20 és 30 Hz esetén., pedig egyformán 49 m/s<sup>2</sup> MAXx-et ért el.

A vizsgált paraméterek közül csupán a korai elhalt (EDoF) embriók aránya és a kezelés között mutatkozott szignifikáns összefüggés (P <0.01) (2.ábra). Ez igazolta a bevezető kísérletsorozatban (1.-3. kísérlet) felállított teóriát és a gyakorlatban tapasztaltakat is, mely szerint a mechanikai hatás és a keltetés beindítása között eltelt rövid idő megnöveli az embrionális elhalást.

Az apai vonalak kezelt csoportjaiban a korai elhalt embriók (EDoF) előfordulása lineáris regressziót mutatott a vibráció mértékével.

$$\text{EDoF} = 6,316 \times \text{Vibráció} + 3,596 \quad (R^2 = 0,535).$$

Torzképződmények egyik kezelt csoportban sem mutatkoztak.

A 4. kísérletben kapott eredményekből okulva a behatás mértékét emeltem. Ez egyrészt a rázó gép teljes kapacitásának kihasználásával (periodikusan változó 10-30 Hz, 10 perces kezelés), másrészt a csomagolóanyag (tálca) változtatásával történt. A feltevés az volt, hogy a tálca típusa és kialakítása nagymértékben hozzájárul ahhoz, hogy az alkalmazott mechanikai kezelés milyen mértékben hat a tojásokra.

### ***5. kísérlet: tálcátípusok használatának hatása a kifejtett mechanikai kezelésekre***

A termékeny tojásra vetített keltethetőségben (HOF%) a kontroll csoport és a műanyag tálcán rázott tojások között szignifikáns eltérést

tapasztaltunk. Papírtálcán ugyanaz a behatás nem rontotta szignifikánsan a keltethetőséget.


A termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók (EDoF%) arányában szignifikáns eltérést tapasztaltunk a műanyag tálcán rázott és a kontroll csoport, illetve a különböző tálcákon rázott csoportok közt.

- Ez tükrözi a gyakorlati körülmények között tapasztaltakat.
- A műanyag tálcán rázott tojásoknál szignifikánsan magasabb volt a korai elhalt embrió aránya, mint papírtálcára alkalmazása esetén.

A termékeny tojásra vetített torzképződmények (MALFoF%) arányában: a különböző tálcákon rázott csoportok közt a papírtálcán rázott tojások esetében volt magasabb az arány. Mivel a korai elhalt embriók aránya szignifikánsan alacsonyabb volt a papírtálcán kezelt tojások esetében, a termékeny tojásra vetített keltethetőség még így is 4,1 % -kal magasabb volt, mint a műanyag tálcán rázott tojásoké.

- A mechanikai hatás kárteléről elmondható, hogy leginkább a korai elhalt embriók arányának emelésén keresztül rontja a keltethetőséget.
- A torzképződményekről elmondható, hogy egyrészt jelzésértékűek, tehát megjelenésük, mint tünet, feltétlenül nyomon követendő.
  - Feltételezhető az is, hogy voltak olyan torzképződmények, amelyek még szabad szemmel nem láthatók és a membrános (24-28 órás elhalt) vagy a vérgyűrűs szakaszban haltak el. A műanyag tálcán kifejtett mechanikai hatás egyszerűen megölte az embriót és nem volt alkalma torz alakban továbbfejlődni.

11. táblázat: A tojástálcák anyagának hatása a mechanikai kezelésnek kitett keltető tojásokra (az 5. kísérlet eredményei)

	Kontroll (n=1380)	Papír-tálcán (n=1380)	Műanyag tálcán (n=1380)
HOF%	91.06 <sup>a</sup> ±4.59	86.90 <sup>ab</sup> ±4.44	82.81 <sup>b</sup> ±5.32
EDoF%	1.58 <sup>a</sup> ±1.19	2.86 <sup>bc</sup> ±1.92	5.53 <sup>ac</sup> ±2.73
MDoF%	0.59 <sup>a</sup> ±1.09	1.13 <sup>a</sup> ±1.13	2.15 <sup>a</sup> ±2.66
LDoF%	4.73 <sup>a</sup> ±4.61	6.85 <sup>a</sup> ±3.68	6.34 <sup>a</sup> ±5.01
CR %	0.81 <sup>a</sup> ±0.55	0.46 <sup>a</sup> ±0.44	0.88 <sup>a</sup> ±0.74
MALFoF%	0.23 <sup>a</sup> ±0.47	0.72 <sup>ab</sup> ±0.68	0.11 <sup>ac</sup> ±0.34
MALPoF%	3.29 <sup>a</sup> ±1.76	3.92 <sup>a</sup> ±2.05	4.67 <sup>a</sup> ±2.82

<sup>a, b</sup> A eltérő betűvel jelzett értékek, szignifikáns különbséget mutatnak (P<0.05).

### **6. kísérlet: A mechanikai hatás vizsgálata a műanyag tálcára helyezett keltető tojásoknál**

A tojásokat állandó 10 és 20 Hz rezgéssel kezeltem, műanyag tálcán. A behatási időt 5 percre csökkentettem, mert az előző kísérletekből kiderült, hogy ennyi idő is elég negatív hatás kimutatására.


Ez sorrendben 9,55 és 10,02 m/s<sup>2</sup> RSM<sub>x</sub>-et illetve 10,79 és 12,26 m/s<sup>2</sup> maximum gyorsulást jelent x tengely irányában (MAX<sub>x</sub>).

Szignifikáns eltérések mutatkoztak:

- A termékeny tojásra vetített keltethetőségben (HOF%) a kontroll csoport és a 20 Hz-en rázott tojások, továbbá a két kísérleti (10 és 20 Hz-en rázott) csoportok között,

- A termékeny tojásra vetített késői elhalt embriók (LDoF%) arányában a két kísérleti csoport között,
- A hajszáltrepedt és/vagy törött tojások %-ában a kontroll csoport és 20 Hz-en rázott kísérleti csoport tojásai között.

12. táblázat: Műanyag tálcán, 5 percig tartó, folyamatos 10 és 20 Hz fizikai hatás által okozott keléscsökkenés és kategóriái (6. kísérlet eredményei)

	Kontroll (n=1350)	Műanyag- tálcán 10 Hz (n=1350)	Műanyag tálcán 20 Hz (n=1350)
HOF%	77.4 <sup>a</sup> ±5.6	80.20 <sup>ab</sup> ±5.01	69.3 <sup>b</sup> ±4.7
EDoF%	11.03 <sup>a</sup> ±3.3	11.37 <sup>a</sup> ±3.89	15.14 <sup>c</sup> ±4.74
LDoF%	12.46 <sup>ab</sup> ±4.41	9.02 <sup>a</sup> ±5.77	14.92 <sup>b</sup> ±4.00
CR %	1.78 <sup>a</sup> ±0.89	1.50 <sup>ac</sup> ±0.89	1.50 <sup>b</sup> ±0.88
MALFoF%	0.35 <sup>a</sup> ±0.42	0.00 <sup>a</sup>	0.26 <sup>a</sup> ±0.55

<sup>a, b</sup> Az eltérő betűvel jelzett értékek szignifikáns különbséget mutatnak (P> 0.05).

Különös módon a 10 Hz-en rázott csoport eredménye jobb volt, mint a kontroll csoporté. Ugyan a tojásokat kevesebb, mint 1 hétig tároltam a kezelés előtt ezalatt nem forgattam a tojásokat.

A tojásforgatás nem csak amiatt előnyös, mert megelőzhető a csírákorong letapadása, de azért is, mert a tojás alkotórészei között az ion és vízeloszlás egyenletesebb marad.

Tehát az a kérdés is felmerült a kísérlet értékelése során, hogy vajon a kismértékű rázás hasznos eleme lehet-e a tojástárolásnak – esetleg egy rázó

platformmal –, ha nincs lehetőségünk feltálcázva és naponta több alkalommal forgatva tárolni a tojásokat.

Középidős elhalt embrió egyik csoportban sem volt.

Mivel a rázás során megfigyelhető volt, hogy a tojások átfordultak a tálcán, ezért mindegyiket helyes helyzetben helyeztem a tálcára. Így rendellenes fekvés egyik csoportban sem volt.

A kontroll tojások magasabb törött arányát a felületesebben válogatás okozhatta az áttálcázáskor, mivel a kísérleti csoportok minden tojását kétszer tálcáztam át, először 30-as műanyag tálcára majd 150-es Petersime előkeltető tálcára.

### ***Összegzés***

A legkíméletesebb csomagolóanyagon (papírtálca) történő 5 perces rázás az apai vonalban szignifikánsan emelte a korai elhalt embriók arányát ( $P < 0,05$ ), amikor kevesebb, mint 24 óra telt el a mechanikai behatás és a keltetés megkezdése előtt. Landauer és Baumann 1943-ban még 48 óra pihentetést javasolt, ezzel szemben De Lange (2012) ezt minimum 12 órában határozta meg.

A papírtálcás kezeléshez viszonyítva a műanyag tálcán végzett kezelés szignifikánsan rontotta a tojások keltethetőségét, főként a korai elhalt embriók arányának növelése révén.

A behatás mértékének időtartama másodlagos tényező a behatási erő mögött, hiszen 5 perc kezelés 20 Hz-en és műanyag tálcán szignifikánsan emelte a törött tojások arányát és az épen maradt tojások keltethetőségét. Ezt a negatív hatást műanyag tálcán x tengely irányban mért, maximális  $12,26 \text{ m/s}^2$  (1,25 g) gyorsulás (MAXx) és  $10,02 \text{ m/s}^2$  RSMx mellett értem el.

Ez megegyezik Randall (1993) és Nazareno (2013) megállapításával, akik leírták, hogy mérsékelni kell a behatások gyakoriságát és időtartamát – a behatások számát – a kíméletes szállítás érdekében.

A 4. kísérletben megmutatkozott a különböző vonalak eltérő érzékenysége is a mechanikai kezelésre, ezért a következő kísérletek tervezésekor ennek további vizsgálatát tartottuk szükségesnek.

#### **4.3.3. Tárolás alatti rövid idejű keltetés (SPIDES) bevezetése a mechanikai hatással kiváltott károsodás enyhítésére**

A 7. kísérletben a Vonal x Vibráció x SPIDES interakció teljesen meglepő módon kizárólag a LDoF-ra, azaz a termékeny tojásra vetített késői elhalt embriók arányára mutatott szignifikánshoz közeli eltérést ( $P=0,058$ ).

A modell átrendezésével

- A Vibráció x SPIDES interakció mind a középidős elhalt embriók (MDoF ( $P=0,029$ ), mind a torzképződmények, fejlődési rendellenességek (MALFoF ( $P=0,048$ )) kategóriákra szignifikáns eltérést adott,
- a Vibráció x Vonal interakció ugyancsak a késői elhalt embriók (LDoF ( $P=0,024$ )) kategóriára mutatott szignifikáns eltérést,
- SPIDES x Vonal szintén a késői elhalt embriók termékeny tojásra vetített arányában (LDoF-ban) mutatott szignifikáns eltérést ( $P=0,031$ ).

Ezt követően a vonalak csoportjait külön vizsgáltam.

Az anyai vonal eredményeinek vizsgálata MANOVA analízissel nem mutatott ki együttes hatást a rázásnak kitett és a SPIDES kezelés között.

A mechanikai hatás az élő embrióra vetített keltethetőségre (HOV) és a selejt csibék arányára volt szignifikáns hatással ( $P=0,037$  és  $0,042$ ), míg

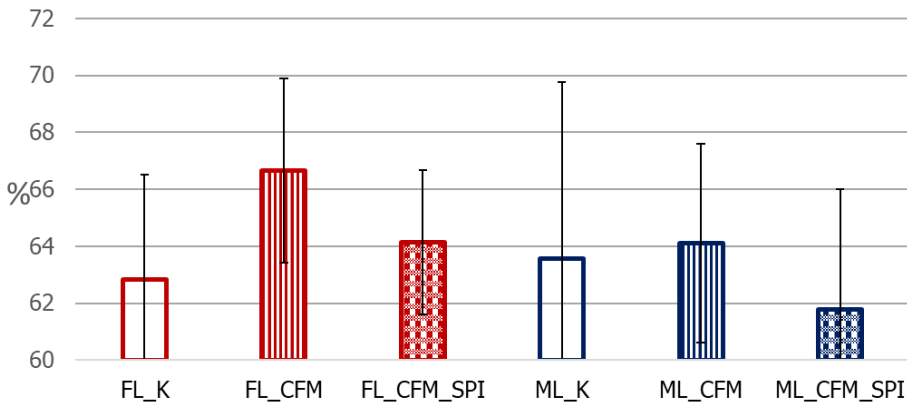
a torzképződmények (MALFoF) esetén éppen a szignifikáns határ felett volt ( $P=0,054$ ).

A SPIDES kizárólagos hatása a középídős elhalt embriók ( $P=0,041$ ) és a selejtek arányára ( $P=0,045$ ) volt szignifikáns hatással.

Apai vonalban a Vibráció x SPIDES interakció a Roy féle legnagyobb gyök módszerével ellenőrizve szignifikáns értéket adott, de kizárólag a leggyakoribb rendellenes fekvés esetén (HAW,  $P=0,024$ ).

A termékeny tojásra vetített keltethetőség érdekes tendenciát mutatott, de a szignifikancia szint fölött volt (3. ábra).

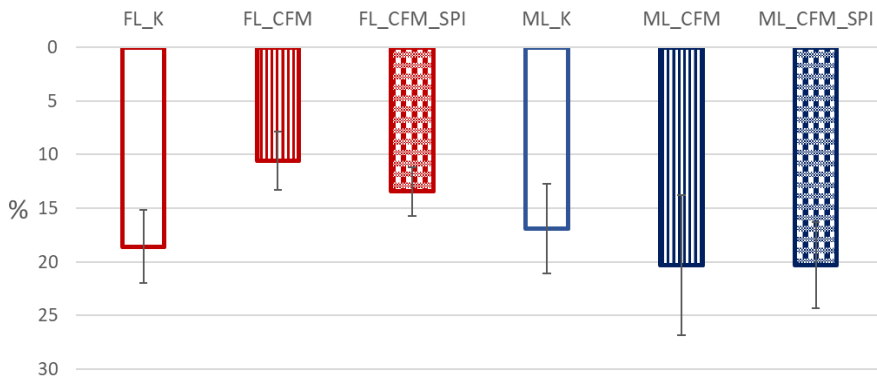
3. ábra: Termékeny tojásra vetített keltethetőség (HOF%) alakulása az anyai és az apai vonalakban, nem szignifikáns összefüggés, de a vonalak eltérő tendenciát mutatnak.



FL – anyai, ML - apai vonal, CFM – CFM kezelés, SPI – SPIDES kezelés.

A termékeny tojásra vetített keltethetőség a vibrációnak kitett, de nem SPIDES kezelt tojások esetében az anyai és apai vonalban magasabb, mint a kontroll csoport. míg a legrosszabb a rázott és SPIDES kezelésnek kitett csoportnál.

4. ábra: A termékeny tojásra vetített, a keltetés korai szakaszában elhalt embriók aránya az anyai és apai vonal különböző csoportjaiban

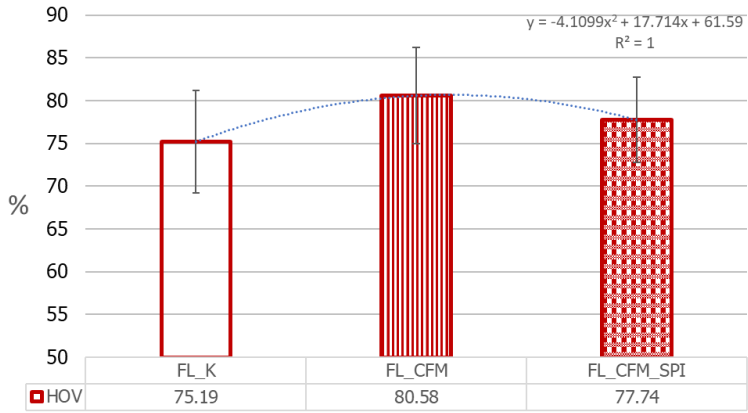


Ez egybevág a 6. kísérletben tapasztalt jelenséggel, ahol azt figyeltem meg, hogy nem várt módon a 10 Hz-en rázott csoport eredménye jobb volt, mint a kontroll csoporté. A tojásokat 1 hétnél rövidebb ideig, forgatás nélkül tároltam.

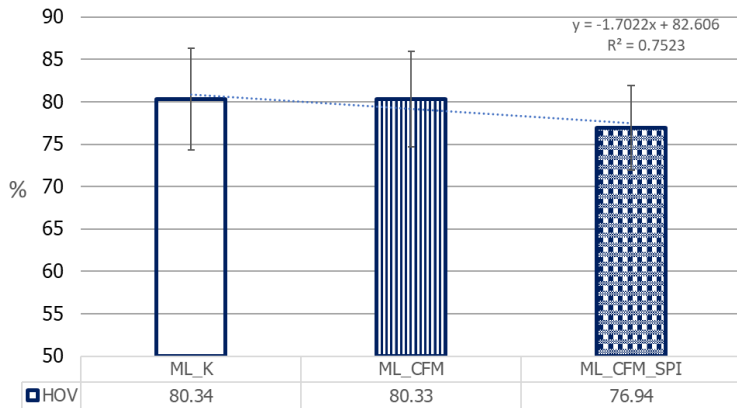
Az anyai vonaltól származó rázott és SPIDES tojásokban a korai elhalt embriók aránya viszont meghaladta a csak rázással kezelt tojásokban tapasztaltakét. Ezzel szemben az apai vonal esetében a rázott és SPIDES csoport tojásaiban az elhalt embriók kategóriája volt a legalacsonyabb (6. ábra)

Ennek a kísérletsorozatnak az egyik hibája, hogy nem szerepelt pozitív kontroll csoport, ahol a tojások kapnak SPIDES kezelést, de rázást nem. A másik, hogy az apai tojások darabszáma – magas értékük miatt – korlátozott volt. Mindkét hibát a záró kísérletsorozatban igyekeztem kiigazítani. A második legnagyobb keltetési veszteséget a késői elhaltak aránya eredményezte (7., 8. ábra), ami az élő embrióra vetített keltethetőséget befolyásolja (HOV%), de eltérő tendenciát mutatott az anyai és az apai vonalakban (5., 6. ábra).

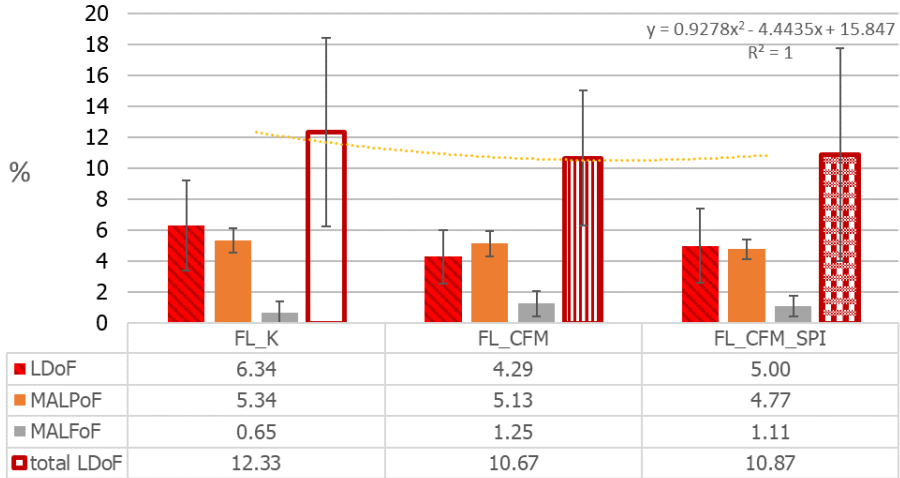
5. ábra: HOV% - Élő embrióra vetített keltethetőség az anyai vonal különböző csoportjaiban



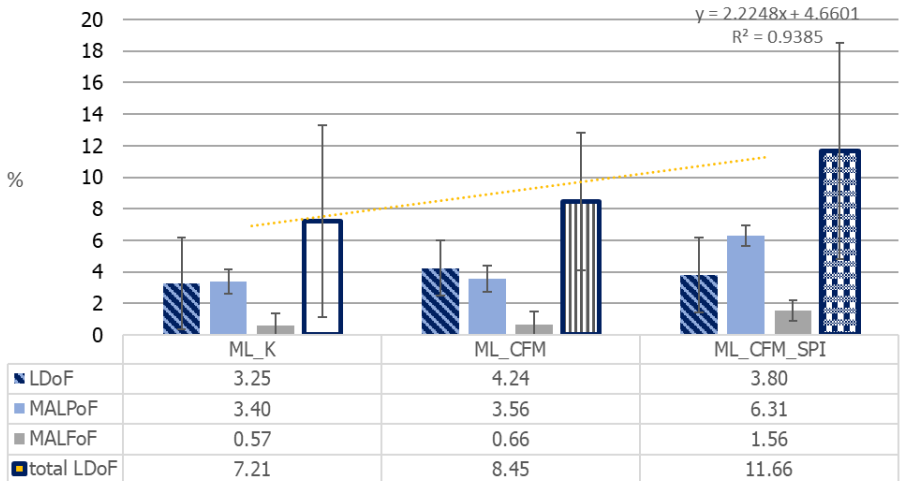
6. ábra: HOV% - Élő embrióra vetített keltethetőség az apai vonal különböző csoportjaiban



7. ábra: Termékeny tojásra vetített, késői elhalt embriók kategóriánkénti alakulása az anyai vonal különböző csoportjaiban



8. ábra: Termékeny tojásra vetített, késői elhalt embriók kategóriánkénti alakulása az apai vonal különböző csoportjaiban



Anyai vonalban a tendencia hasonló a korai elhalt embriók arányához (5. ábra), az apai vonal tojásaiban azonban a késői elhalt embriók aránya a

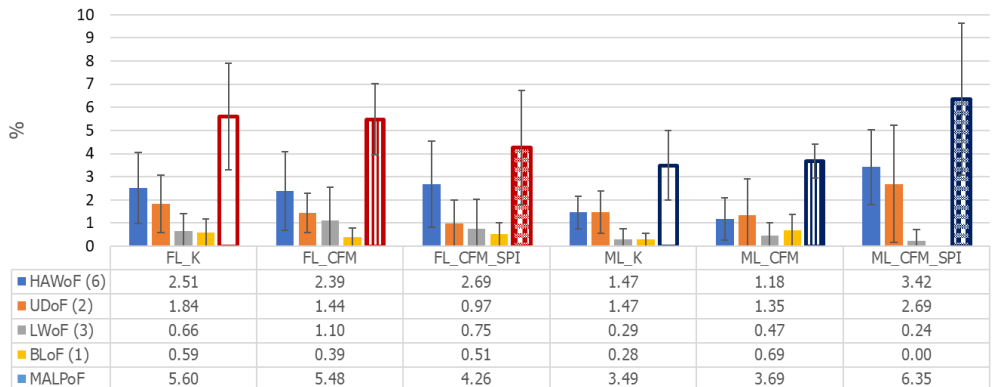
legmagasabb a rázott és SPIDES kezelést is kapott csoportban, azaz a tendencia ellentétes a korai elhalt embrióknál megfigyelttel (6.ábra).

Ha ezt az eredményt részletesen kielemezzük, látható, hogy az anyai vonal kezelt csoportjaiban a kontroll csoporthoz viszonyítva alacsonyabb a rendellenes fekvés és a normál pozíciójú embriók aránya, míg a torzképződmények aránya magasabb (7. ábra).

Az apai vonalban azonban mindhárom kategória magasabb a kezelt csoportokban (8. ábra).

A 7-8. ábrából szintén leolvasható, hogy az esetek többségében a látszólag normális fejlődésű és helytelen fekvésű embriók előfordulása nagyban felelős a nagyobb arányú késői embrióelhalásért.

9. ábra Rendellenes fekvésű embriók megoszlása vonalanként és kezelési csoportonként



Látható, hogy főként a rendellenes fekvésben van eltérés a csoportok között, ezen belül is a 6-os típus a leggyakoribb (csőr a jobb szárny felett), ahogy azt a részletesebb tojástörés-analízis felfedte.

Az apai vonalban a rázás x SPIDES interakció modellben a 6-os típusú (csőr a jobb szárny felett) rendellenes fekvés szignifikáns (HAW,  $P=0,024$ ) eltérést mutatott a többi rendellenes fekvéshez viszonyítva.

Igaz elhanyagolható szinten, de a fejlődési rendellenesség tüneteit mutató embriók is hozzájárultak a kísérleti csoportok magasabb kelési veszteségéhez (9-10. ábra).

Itt az anyai csoportnál a mechanikai hatásnak kitett tojások (FL\_CFM) míg az apai vonalban a mechanikai hatásnak és SPIDES kezelésnek is kitett tojások (ML\_CFM\_SPI) mutatták a legnagyobb arányban a fejlődési rendellenesség tüneteit. A torz embriók megjelenése jelzés értékű gyakorlati körülmények között is, hiszen okozhatnak olyan torzulásokat – és emiatt embrionális elhalást is – ami szabad szemmel nem látható.

### ***Összegzés***

Ez volt az első olyan alkalom az eddigi kísérletek során, ahol a késői elhalt embriók először mutattak szignifikáns (Vibráció x vonal, SPIDES x vonal;  $P < 0,05$ ) és szignifikánshoz közeli eltérést (Vibráció x Vonal x SPIDES;  $P= 0,058$ ). Ez meglepő volt, de megegyezik Donofre és munkatársai (2017) által tapasztaltakkal, mivel ők csak ebben az embrionális időszakban tapasztalt szignifikáns eltérést a kontrolcsoporthoz viszonyítva.

A vibráció x SPIDES interakció mind a középidős elhalt-, mind a torz embriók arányát szignifikánsan megemelte, ami megegyezik a 3. kísérletben tapasztaltakkal, ahol 30 Hz-es kezelést követően a tojások keltetését 24 órán belül megkezdtük. Ez azt támasztja alá, hogy ha a mechanikai behatás és a sejtosztódás beindulása között nem telik el elég idő, az rendellenes fejlődést, torzképződmények kialakulást okozhatja.

Mammoto és Ingber (2010) szerint a sejten belül gerjesztett mechanikai erők legalább akkora szerepet játszanak az embrionális fejlődés szabályozásában, a morfogenezisben és a szövetek differenciálódásában, mint a gének és a kémiai jelek. Itabashi és munkatársai (2012) pedig emlősök sejtein sikeresen alkalmaztak mechanikai behatást a mitózis metafázisának kontrollálására. A kérdés ezek alapján az, hogy a szélsőségesen erőteljes kezelés milyen hatással lehet a folyamatra.

Ebben a kísérletben is érvényesült a különböző vonalak eltérő érzékenysége.

Az anyai vonal okozta a legtöbb fejtörést, mivel a vibrációnak kitett csoport jobb kelési eredményt mutatott, mint a kontroll. Ezzel felmerült a kérdés, hogy lehet-e a mérsékelt (10 Hz) vibrációnak jótékony hatása, főként a korai elhalt embriók arányának csökkentésében. Mivel tárolás alatt a tojásokat nem forgatták, felmerül a kérdés, hogy a forgatást helyettesítő funkció okozta-e ezt a kedvező hatást.

10 Hz-en maximum  $14,22 \text{ m/s}^2$  x tengely irányában mért maximális gyorsulás és  $9,55 \text{ m/s}^2$  RMSx volt elérhető a 60-as műanyag tálcán, ami magasabb maximális értéket jelentett, mint a 30-as tálcán tapasztaltak ugyanezen a vibrációs szinten ( $10,79 \text{ m/s}^2$ ), míg a számított RSMx megegyezik.

Ez a kísérlet azt a tapasztalati megfigyelést erősítette meg, hogy minél részletesebb a tojástörés kategorizálása, annál több információt kapunk arról, hogy a mechanikai hatásra az embrió melyik életszakaszában pusztul el nagyobb valószínűséggel, és talán arra is választ kapunk, hogy miért.

Nem sikerült bizonyítani a mérsékelt rázás előnyös hatását a keltetés korai szakaszában elpusztult embriók arányának csökkentésére, viszont

szignifikáns emelkedést sem tapasztaltunk, amikor a SPIDES és a mérsékelt mechanikai kezelést közvetlenül egymást után végeztük el.

Mivel, a jelen kísérletben használt tojások tárolási ideje kevesebb volt, mint 7 nap, ezért sem emelkedést, sem csökkenést nem tapasztaltuk a héjhártyához tapadt csírákorong vagy embriók héjhártyához való tapadásának arányában.

További vizsgálatok szükségesek hosszabb tárolású tojások, csak SPIDES kezelésnek kitett, mechanikai kezelés nélküli kísérleti csoportok, és hosszabb, mérsékelt mechanikai kezelésnek kitett csoportok bevonásával.

Az, hogy a vonalak interakciót mutattak a SPIDES és a mechanikai kezeléssel még ilyen mérsékelt hatás mellett is, felhívja a figyelmet, hogy ezt a befolyásoló tényezőt is tovább kell vizsgálni.

Az adatok alapján, a mérsékelt mechanikai behatás, amit a modellező géppel kiváltottunk, jobb élő embriókra vetített keltethetőséget eredményezett mindkét vizsgált vonalban ahhoz viszonyítva, amikor SPIDES kezeléssel együtt alkalmaztuk. Hogy milyen ok húzódik emögött, az szintén további vizsgálatot igényel.

#### **4.3.4. Különböző mértékű mechanikai hatások és a SPIDES vizsgálata**

A záró kísérletsorozatban még számos kérdésre kerestem a választ a tojások mechanikai kezelése és a SPIDES kapcsolatáról.

A SPIDES bevezető kísérletben az anyai vonal vibrációnak kitett csoportja jobb kelési eredményt mutatott, mint a kontroll. Ezzel felmerült a kérdés, hogy lehet-e mérsékelt (10 Hz) vibrációnak jótékony hatása főként a korai elhalt embriók arányának csökkentésében. Mivel tárolás alatt a tojásokat

nem forgatták, felmerül a kérdés, hogy ez a forgatást helyettesítő funkció okozta-e a kedvező hatást.

Kérdés, hogyan befolyásolja a kelés eredményét és minőségét a keltetés alatti (18 napos) tojásszállítás, mint mechanikai hatás? Mivel egyre nagyobb tért nyer Magyarországon is az istállóban történő keltetés, amelynek során az előkeltett tojásokat szállítják ki az istállókba és ott kialakított rendszerben keltik ki azért, hogy a víz- és takarmányfogyasztást rögtön kelés után lehetővé tegyék, ezzel maximálisan kihasználva a korai táplálékfelvétel jótékony hatását a korai testtömeg-gyapodásra és a genetikai potenciál minél jobb kihasználására.

A 18 napig előkeltetett tojás héja vékonyabb, mivel nagy része már átalakult a csibe csontozatává és a teljesen kifejlődött vérérhálózat mechanikai behatásra megszakadhat, ezzel emelve a késői elhalt (LDoF), külsőpattogzott (PIPDoF) és selejt csibék (CullsoF) arányát. Az útviszonyok és a loggerekkel mért mechanikai hatás ismeretében vizsgáltam ezt a feltételezést.

A tárolással romlik a tojások szállíthatósága, ezért hosszabb tárolási idejű tojásokat is bevontam a záró kísérletsorozatba.

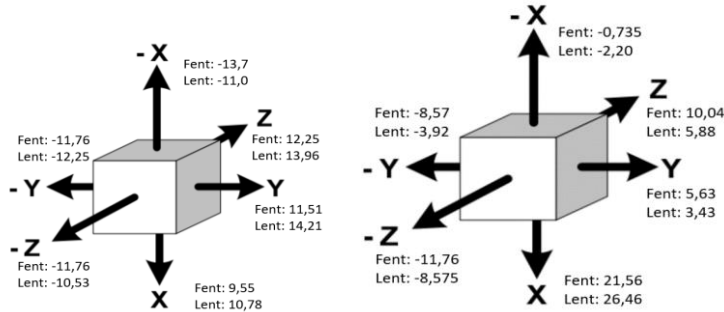
### ***8. kísérlet: A SPIDES és a közúti szállítás hatásvizsgálata***

Ebben a kísérletben a vibrációs csoport tojásait vizsgáltam 5,5 és 4,5 órás közúti szállítás során, a keltetőben használt előkeltető tálcán.

A kezelés  $9,11 \text{ m/s}^2$  átlagos RSMx-et és az x tengely irányában mért maximális  $26,48 \text{ m/s}^2$ -et eredményezett.

10. ábra:

HOBO adatrögzítő logger által mért minimum és maximum értékek különböző mérési irányokban a szállítóeszköz tetején, az oda út (bal) és a visszaút (jobb) során



A mérések alapján számított RSS az előkeltető kocsi tetején 9,88 és 9,92  $\text{m/s}^2$  (oda és vissza), alján pedig 10,17 és 9,82  $\text{m/s}^2$  (oda és vissza), ami arra utal, hogy megfelelő előkeltető kocsi esetén az eltérés minimális, és megfelelő sofőr, jármű és útviszonyok esetén a hatás ismételhető.

A logger adatok alapján a fékezés, a kanyarodás és az előzés okozta a legnagyobb behatásokat, még hozzá az odaúton (MAX<sub>y</sub>: 14,21; MAX<sub>z</sub>: 13,96).

Itt kell megemlíteni, hogy a tojás sokkal jobban bírja az x tengely (függőleges) irányba történő elmozdulást mint az y vagy z irányút, mivel mind a jégzsínór, mind a légkamra az ilyen irányú elmozdulásoknál fejt ki „lengéscsillapító” szerepét.

A Nazareno és munkatársai (2013) által leírt, gyakorlati szállításokat vizsgáló kísérletben a mechanikai hatás és a vibráció nagyobbak bizonyult horizontálisan, mint vertikálisan, ami főként a középideős és idősebb állományokban emelte a törött tenyésztojások arányát.

A szakirodalmi információk és az előzetes tojástöréses vizsgálatok alapján a termékeny tojásra vetített torzképződmények (MALFoF) közül az agyszövet-kizáródás, hiányzó szem(ek), csőrrendellenesség és/vagy abnormalitások a fejen (EYEFACEoF) (15., 19. kép), továbbá a szám feletti végtagok, gerincduplikáció (LIMBoF) (27. kép) csoportjait külön is megvizsgáltam, mivel ezek megjelenése szorosabb összefüggésben lehet a mechanikai hatásokkal.

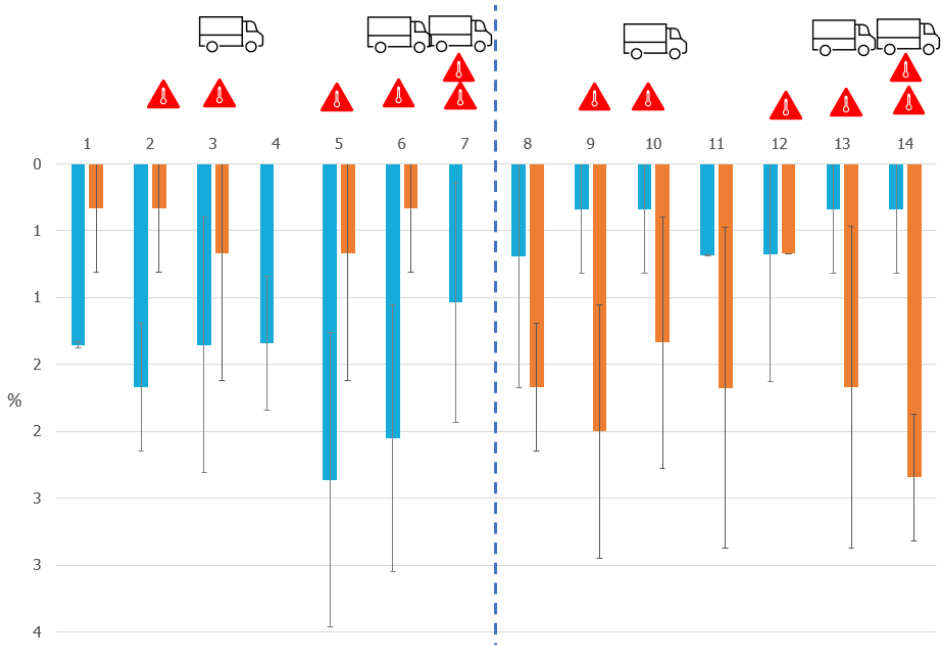
A vizsgált interakciókat a szakirodalmi és tapasztalati adatok alapján állítottam fel.



- Az eltérés a vonalak között a kezelés hatására szignifikánsnak bizonyult ( $P=0,048$ ). Szignifikáns eltérést ( $P < 0,05$ ) mutattak a különböző vonalak a selejt csibék arányában (CULLSoF), a csőr a jobb szárny fölött (HAWoF) és a balra fordított fej (LWoF) rendellenes fekvésben. Ez összefüggésben lehetett a 18 napos szállítás során a diszkomfortérzettel (lásd később).
- A Vonal x SPIDES kezelés interakció – bár a különböző tenyésztési vonalak eltérő mértékben reagálnak a SPIDES kezelésre – szignifikánsnak bizonyult ( $P= 0,022$ ), de négyből csak egy próbával (Roy-féle legnagyobb gyök módszere).

A fej a szárny felett rendellenes fekvés általában a diszkomfort érzettel hozható kapcsolatba. A legmagasabb arányú az Anyai vonal, tárolt és 1xSPIDES kezelt, szállított csoportban volt megfigyelhető (2,06%), míg a balra fordított fej rendellenes fekvésben az Apai-vonal tárolt, 2xSPIDES kezelt, szállított csoportja (2,35%). Ezért a tárolás x szállítás interakciót is érdemes tovább vizsgálni, negatív kontroll bevonásával. Érdekes megfigyelni, hogy az anyai vonalnál a csőr a jobb a szárny fölött (HAWoF

-6.típusú rendellenes fekvés) aránya általában a magasabb, míg az apai vonalnál a balra fordított fej (LWoF -3. típusúrendellenes fekvés) (11. ábra).

11. ábra Különböző típusú rendellenes fekvések (HAWoF -6.típusú rendellenes fekvés és a balra fordított fej - LWoF -3. típusúrendellenes fekvés) aránya különböző vonalakban és kezelési csoportokban



Jelmagyarázat:  SPIDES kezelés(ek)  közúti szállítás  
Anyai vonal, <7 nap tárolás: 1-3. csoport; >7 nap tárolás: 4-7. csoport;  
apai vonal: <7 nap tárolás: 8-10. csoport; >7 nap tárolás 11-14. csoport.

A selejt csibék aránya szintén a legmagasabb a tárolt és szállított tojásoknál, 1,51 % az az Anyai-vonal (2xSPIDES), míg 0,79 % az Apai-vonal (1xSPIDES) esetén. Az Apai-vonalban ugyanakkor a 2xSPIDES alacsonyabb selejtcsibe arányt eredményezett (0,39%).

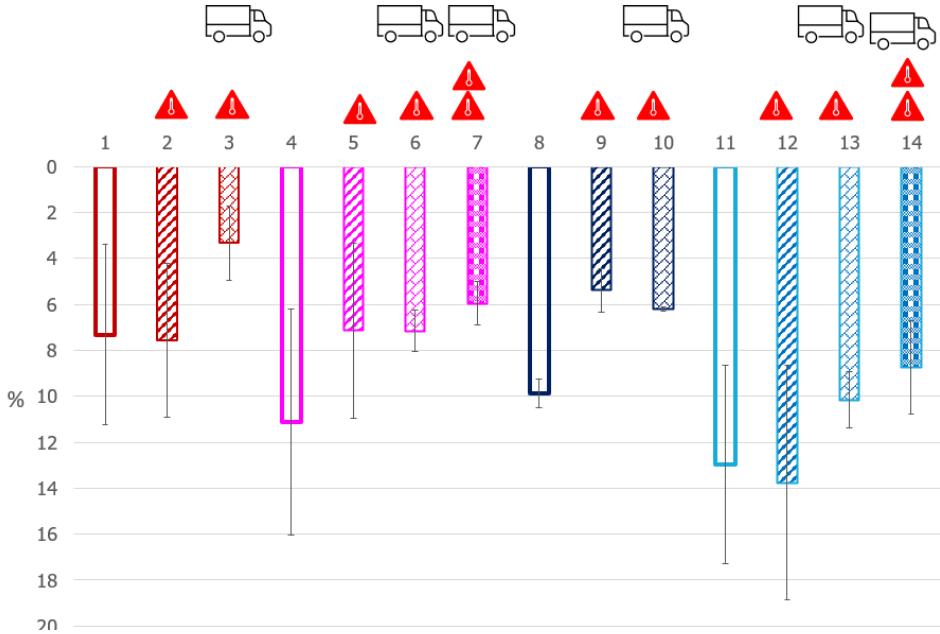
Bár az embrióboncoláskor elkülönítettük a torzképződmény kategóriákat, de sem az egyes kategóriák, sem a termékenytojásra vetített, összes torzképződmény hányad nem mutatott szignifikáns eltérést.



A tárolt kontrollcsoporthoz képest, az Anyai-vonal tárolt, szállított tojásain 0-0,68 %-kal alacsonyabb a termékeny tojásra vetített összes torzképződmény arány az 1x és 2xSPIDES csoportokban. Míg az Apai-vonal tojásain, ugyanezeket a csoportokat összehasonlítva 0,34 %-al magasabb az 1xSPIDES csoportban, míg 0,34 %-kal alacsonyabb a 2xSPIDES csoportban.

A SPIDES kezelés szignifikáns ( $P < 0,05$ ), gyenge negatív korrelációt (-0,412) mutatott a termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók arányával.

A tárolt, kontrollcsoporthoz képest, az Anyai-vonal tárolt, szállított tojásain 3,97-5,16%-kal alacsonyabb volt a korai embrionális elhalás az 1x és 2xSPIDES hatására. Míg az Apai-vonal tojásain, ugyanezeket a csoportokat összehasonlítva 2,82 (1xSPIDES) és 4,25 % (2xSPIDES) javulást tapasztaltunk (12. ábra).

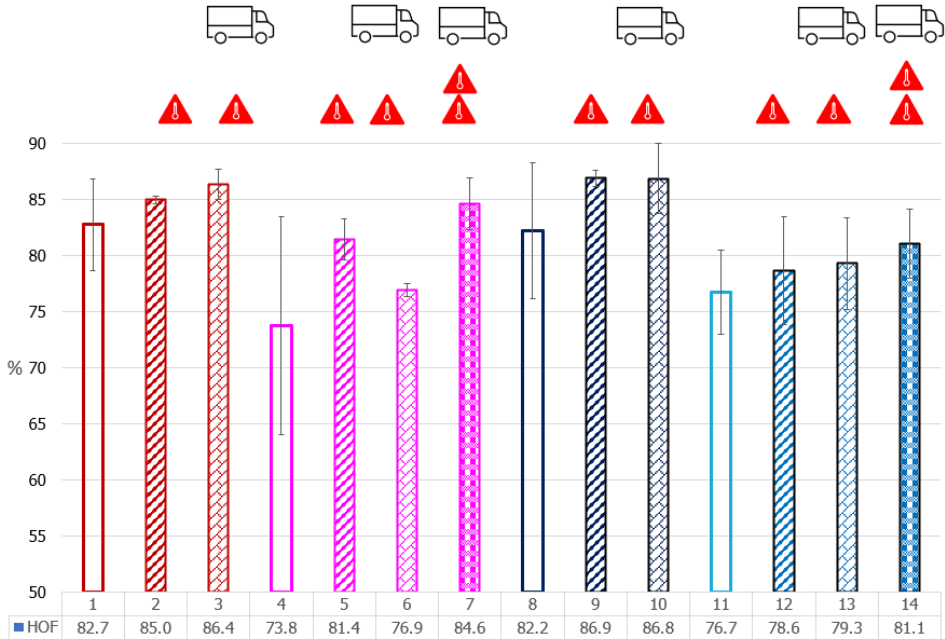
12. ábra A termékeny tojásra vetített, korai elhalt embriók aránya különböző vonalakban és kezelési csoportokban





Jelmagyarázat:  SPIDES kezelés(ek)  közúti szállítás  
 anyai vonal, <7 nap tárolás piros színnel jelölve. >7 nap tárolás rózsaszínnel jelölve; apai vonal, <7 nap tárolás kék színnel jelölve. >7 nap tárolás világoskék színnel jelölve

A tárolt, kontrollcsoporthoz képest, az Anyai-vonal tárolt, szállított tojásain 3,17-10,8 %-kal magasabb volt a termékeny tojásra vetített keltethetőség az 1x és 2xSPIDES hatására. Míg az Apai-vonal tojásain, ugyanezeket a csoportokat összehasonlítva 2,56 (1xSPIDES) és 4,34 % (2xSPIDES) javulást tapasztaltunk (13. ábra).

13.ábra A termékeny tojásra vetített keltethetőség különböző vonalakban és kezelési csoportokban



Jelmagyarázat:  SPIDES kezelés(ek)  közúti szállítás  
 anyai vonal, <7 nap tárolás piros színnel jelölve. >7 nap tárolás rózsaszínnel jelölve; apai vonal, <7 nap tárolás kék színnel jelölve. >7 nap tárolás világoskék színnel jelölve

A fentieket támasztja alá részben, hogy a Vonal x SPIDES kezelés interakciók, azaz különböző genetikai vonalak eltérő mértékben profitálnak a SPIDES kezelésből, ugyan szignifikánsnak bizonyultak ( $P=0,022$ ) de a négyből csak egy próbával (Roy – féle legnagyobb gyök módszere). Ugyanakkor a korai elhalt embriók arányával a kelési eredmények szoros (-0,85 és -0,82), szignifikáns ( $P < 0,01$ ) negatív korrelációt mutattak. Ez utalhat arra, hogy a megoldás kulcsa a kelési

eredmények kedvező befolyásolásában a korai elhalt embriók arányának csökkentése.

Az eredmények alapján felírható regressziós egyenlet:

Termékeny tojásra vetített keltethetőség % =  $- 7,008 \times \text{tojástárolás hossza} + 2,083 \text{ SPIDES} + 87,84$  ( $R^2=0,54$ ), ami legalább információt ad arról, hogy a megfigyelt közúti szállítás nem befolyásolta negatívan a kelés eredményességét a jelen kísérlet körülményei között (azaz műanyag előkeltető tálcán a  $9,8-10,17 \text{ m/s}^2$  RSS az adott tojásméret és héjminőség mellett).

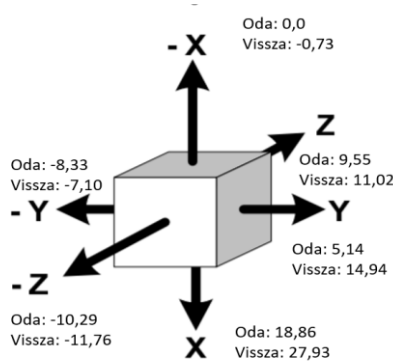
Tehát feltételezhetően a SPIDES mind a tojás korát, mind a vibráció negatív hatását ellensúlyozza. Bár a vibrációs hatás szignifikancia szintje nagyobb mint  $0,05$ , ez csak elméleti feltételezés, azonban alapot adott a záró kísérlethez.

A magyarázat az, hogy az előző kísérletekkel ellentétben itt nem CFM gépen tettem ki vibrációnak a tojásokat, hanem előkeltető tálcás közúti szállításán modelleztem az istállóban keltetést megelőző mechanikai hatásokat. Ezért a záró kísérlet során a CFM gépen is modelleztem a mechanikai hatást

### ***9. kísérlet: SPIDES és különböző mértékű mechanikai hatások vizsgálata***

A 9. kísérletben közúti szállítás és CFM gépen kezelés is szerepet kapott a SPIDES és a forgatás mellett.

14. ábra. HOBO adatrögzítő logger által mért minimum és maximum értékek különböző mérési irányokban a szállítóeszköz tetején, oda- és visszaúton



Az átlag RSS értékek nagyon hasonlóak az előző szállítási kísérlet adataihoz: 9,09 és 9,2 m/s<sup>2</sup> (oda és vissza). Ezt azzal próbáltam biztosítani, hogy a szállítójármű, a raksúly, a sofőr és az útvonal is megegyezett az előző kísérletben használtakkal. A közúti szállítás 4,5 és 5,5 órát tartott. Az átlag RSMx 9,56 m/s<sup>2</sup>, az x tengely irányában mért maximális gyorsulás 27,95 m/s<sup>2</sup> volt az oda-vissza közötti szállításnál.

Ugyan a szállítójármű klimatizált volt, a szállítás utolsó órájában az élő embriókat tartalmazó tojásokban a héjhőmérséklet a kritikus 40-40,6 °C (104-105 °F) -ig emelkedett. Ezt az ún. „ott vagyunk már?” jelenséget Tinytag TK-4023, külső érzékelős loggerrel ellenőriztem. Mivel a használt loggereknek csak monitoring szerepük volt, jelen vizsgálatban nem gyűjtöttünk annyi adatot, hogy kijelentsük: az embriók diszkomfort érzete okozta a hőmérsékletemelkedést. Ugyanakkor Nordquist és munkatársai (2022) azt figyelték meg, hogy a hosszabb szállítás esetén az embrionális szívdobogásszám magasabb volt, mint a rövid szállítás esetén.

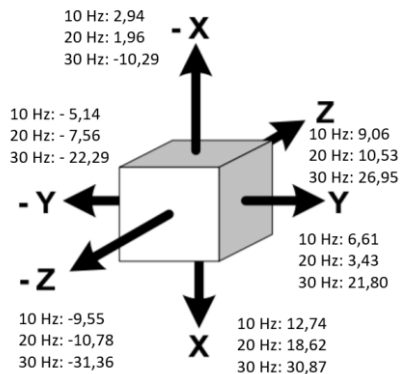
A jelen vizsgálatban a héjhőmérséklet-emelkedés a kelésben nem okozott szignifikáns eltérést.

Míg Donofre és munkatársai (2014) teszt körülmények között végrehajtott kísérletében a legintenzívebb kezelés ( $15,19 \text{ m/s}^2$ ) hatására a naposcsibék légzésszáma szignifikánsan megemelkedett, ami annyit jelent, hogy potenciális stresszor lehet számukra a vibráció.

Mivel a 8. számú kísérlet nem adott szignifikáns eltérést a közúti szállításra, a vibrációnak kitett csoportokat CFM gépen kezeltem, a mechanikai hatást pedig ugyanolyan loggerekkel mértem.

15. ábra

HOBO adatrögzítő logger által mért minimum és maximum értékek különböző mérési irányokban, 10, 20 és 30 Hz kezelés alatt



Az így kapott RSS értékek 10, 20 és 30 Hz-es kezelés során: 9,19; 10,08 és  $12,75 \text{ m/s}^2$ .

A számított RSMx értékek sorrendben: 10,23; 10,85;  $13,58 \text{ m/s}^2$ , míg az x tengely irányában történt maximális gyorsulás 13,73; 18,64 és  $30,9 \text{ m/s}^2$ .

A SPIDES alkalmazása felvet egy nagyon érdekes feltételezést. Elképzelhető, hogy amennyiben az előkeltetett tojásokat istállóban

keltetjük, a szállítás esetleges negatív hatása ellensúlyozható, ha a keltetés előtt SPIDES kezelést alkalmazunk és a mechanikai hatás mértéke nem haladja meg az itt bemutatott szintet. Azaz, a szállítójármű megfelelő rugózással felszerelt és a szállítóeszköz, amin a tojást szállítjuk (papír, műanyag tojástálca vagy előkeltetőtálca), megfelel az útviszonyoknak.

Kezelések:

1. VIBRÁCIÓ – 10, 20 és 30 Hz-en 5 percen keresztül a CFM gépen
2. SPIDES – egyszeri, 2 órás kezelés a hatásos (32°C) 90 °F tojáshéjhő fölött.
3. VONAL – Anyai és apai vonal
4. 18 NAPOS KELTETŐTOJÁS-SZÁLLÍTÁS – az istállóban történő keltetés technológiai modellezésére 18 napon az előkeltett tojásokat, előkeltető tálcán, 3 órán keresztül, klimatizált gépjárművel szállítottam.
5. FORGATÁS – a kísérleti csoport tojásait naponta kétszer 45°-ban elforgattam.

A vizsgált tényezők jelölése megegyezik az előző kísérleteknél leírtakkal, ill. kiegészülnek két új vizsgált tényezővel:

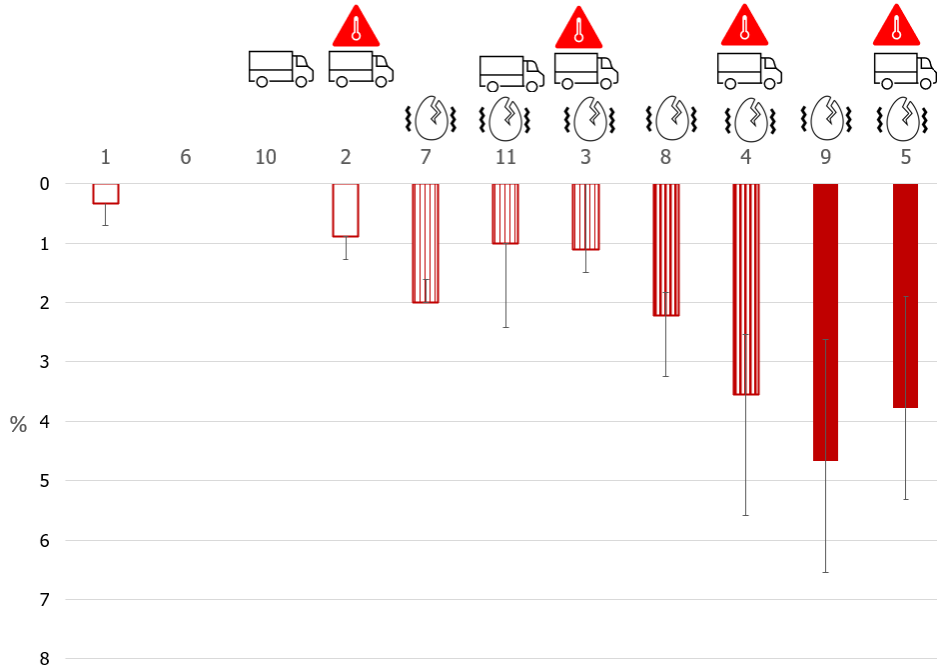
1. MIX\_YOLK – repedt szikhardtya, ahol a szikhardtya megrepedése miatt a szik keveredik a tojásfehérjével (16. kép).
2. STCKoF – a héjhardtához tapadt embriók aránya a termékeny tojásokra vetítve (17. kép).

A számított Pearson-féle korrelációs együtthatók alapján a kísérletben az alábbi lineáris kapcsolatokat találtam:

Erős korreláció, markáns pozitív kapcsolat áll fenn a vibrációs kezelés és a törött tojások aránya (CR) között ( $P < 0,001$ ).

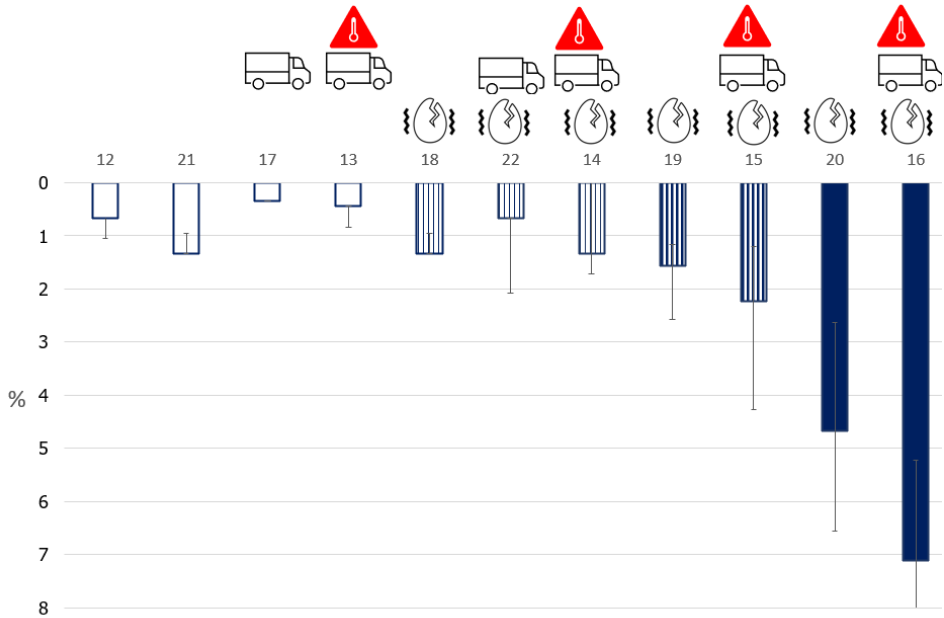
A 16-17. ábra mutatja be a berakott tojásra vetített törött/hajszálrepedt tojások arányát (CR, %) különböző vonalakban és különböző kezelési csoportokban.

16. ábra: Berakott tojásra vetített törött/hajszálrepedt tojások aránya (CR, %) különböző kezelési csoportokban – anyai vonal



Jelmagyarázat:  CFM gép,  SPIDES kezelés,  közúti szállítás

17. ábra Berakott tojásra vetített törött/hajszálrepedt tojások aránya (CR, %) különböző kezelési csoportokban – apai vonal



Jelmagyarázat: CFM gép, SPIDES kezelés, közúti szállítás

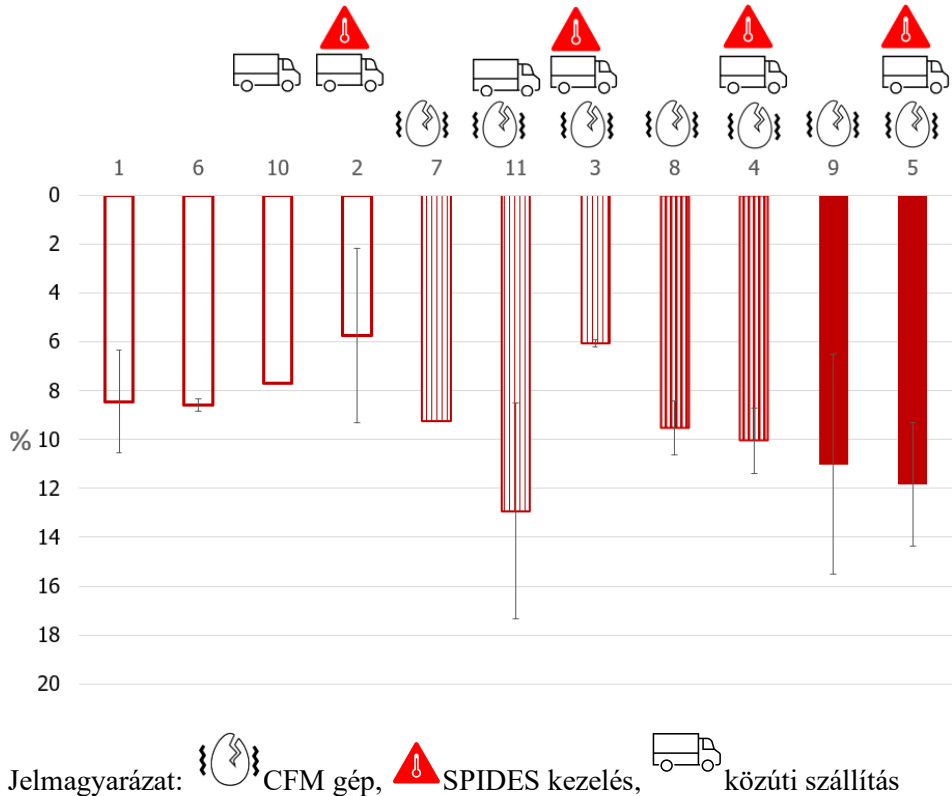
Negatív irányú, de szintén markáns a kapcsolat a korai elhalt embriók aránya (EDoF) és a berakott tojásra, illetve a termékeny tojásra vetített keltethetőség között (HOS, HOF és HOV;  $P < 0,001$ ). Ez a két utóbbi összefüggés azért jelentős, mivel a vibrációs kezelés és a korai elhalt embriók, továbbá a korai elhalt embriók és a törött tojások, valamint a korai elhalt embriók és a repedt szikhártya (MIX\_YOLK) között viszont erősen szignifikáns, közepes pozitív összefüggés áll fenn ( $P < 0,001$ ).

Apai vonal 30 Hz-en rázott csoportjaiban állapítottuk meg a legmagasabb repedt szikhártya arányt. 0,5 % -ot a 16. csoport és 1% -ot a 20. csoport tojásaiban.

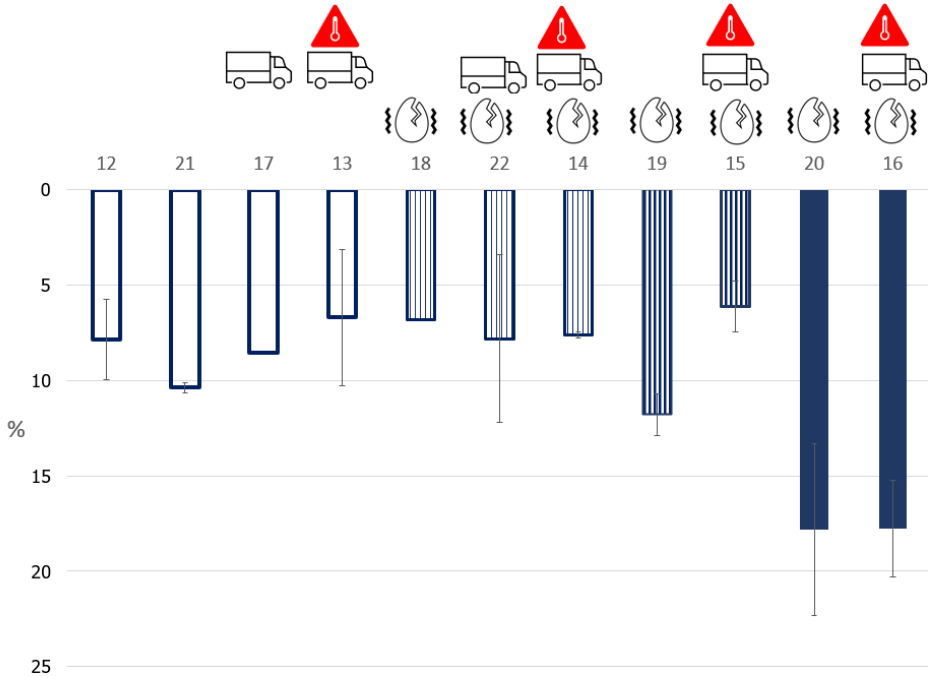
Következésképpen a vibrációs kezelés az említett paraméterek révén csökkenti a keltethetőséget.

A 18-19. ábra mutatja be a termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók arányát (EDoF, %) a különböző vonalakban és különböző kezelési csoportokban.

18. ábra: Termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók aránya (EDoF, %) különböző kezelési csoportokban – anyai vonal



19. ábra: Termékeny tojásra vetített korai elhalt embriók aránya (EDoF, %) különböző kezelési csoportokban – apai vonal

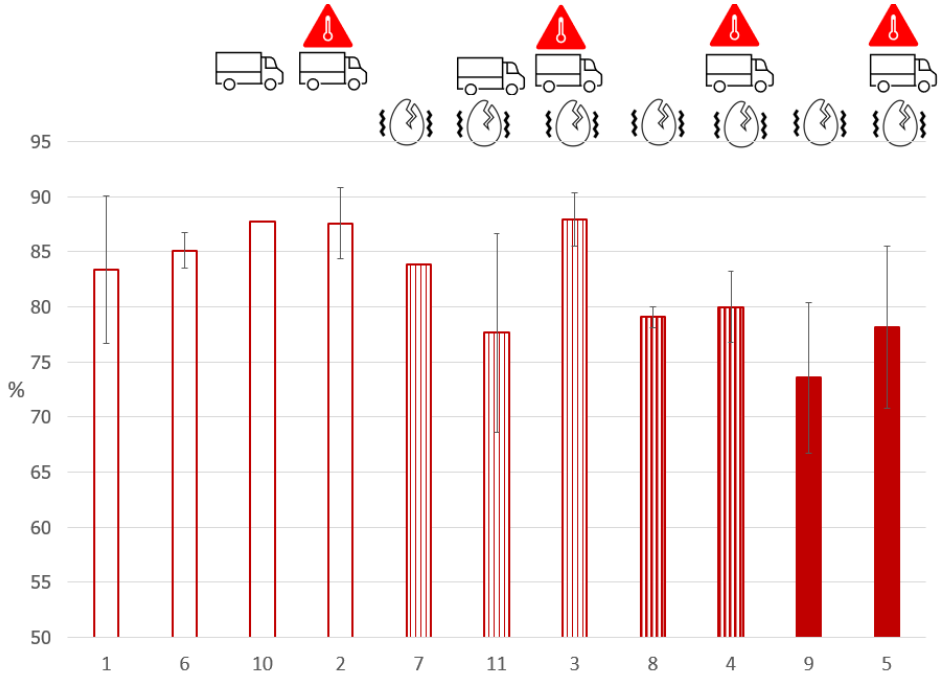


Jelmagyarázat: CFM gép, SPIDES kezelés, közúti szállítás

Ugyanakkor a keltethetőséget kifejező paraméterek (HOS, HOF, HOV) és több vizsgált tényező között több gyenge, negatív irányú és statisztikailag nagyon megbízható ( $P < 0,001$ ) korreláció áll fenn.

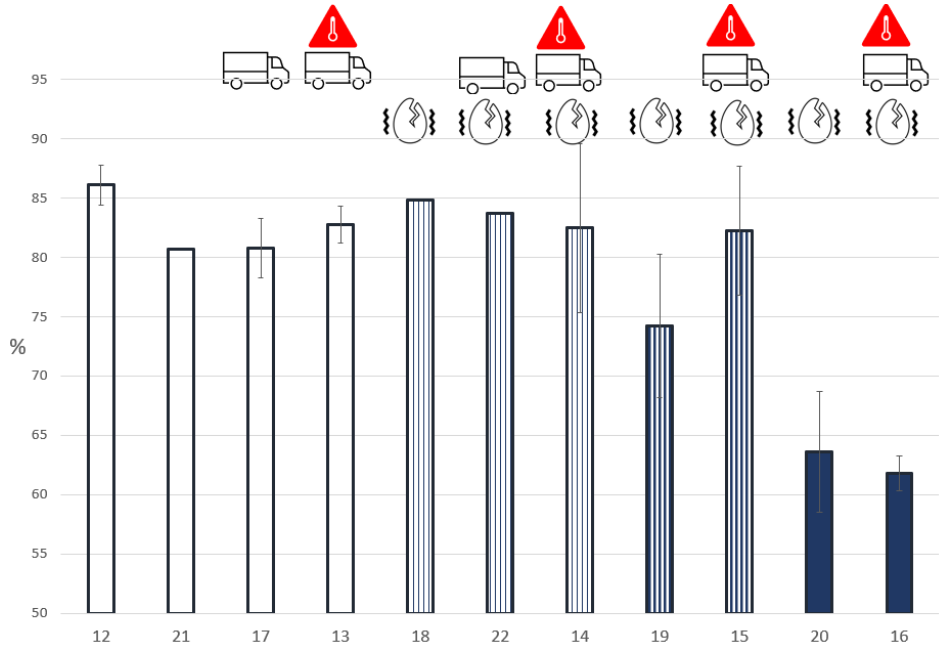
A termékeny tojásra vetített keltethetőségi (HOF, %) adatainak alakulását mutatja be a 20.-21. ábra.

20. ábra: Ternékeny tojásra vetített keltetethőség (HOF, %) különböző kezelési csoportokban – anyai vonal



Jelmagyarázat:  CFM gép,  SPIDES kezelés,  közúti szállítás

21. ábra: Termékeny tojásra vetített keltethetőség (HOF, %) különböző kezelési csoportokban – apai vonal



Jelmagyarázat: CFM gép, SPIDES kezelés, közúti szállítás

Statistikailag igazolt, erős összefüggések:

- Törött tojások aránya (CR) és az összes számított keltethetőségi % (HOS, HOF, HOV;) között ( $P < 0,001$ ).
- Az összes számított keltethetőségi % (HOS, HOF, HOV) és a rendellenes fekvésű embriók aránya (MALPoF), azon belül is a 6. típusú rendellenes fekvés – Csőr a jobb szárny felett (HAWoF) között; ( $P < 0,001$ ).
- HOV és a késői elhalt embriók aránya között ( $P < 0,001$ )

Gyenge, majdnem elhanyagolható szignifikáns összefüggések:

- A vibráció és a középídős elhalt embriók (MDoF) és rendellenes fekvésű embriók között (MALPoF) ( $P < 0,05$ ).
- SPIDES kezelés és a rendellenes fekvésű embriók (MALPoF) között ( $P < 0,05$ ).
- A korreláció iránya a vonal hatása a 2. típusú rendellenes fekvésre (fej a tojás hegyes pólusában, UDoF, ( $P < 0,001$ ); a 6. típusú rendellenes fekvésre (HAW), ( $P < 0,05$ ); a HOV kelési számításra ( $P < 0,05$ ); és a selejt csibék arányára ( $P < 0,05$ ); ami tükrözi az apai vonal keltetése során megfigyelt gyakorlati tapasztalatokat.
- Mivel a 6. típusú a leggyakoribb fekvési rendellenesség pozitív kapcsolata a késői elhaltak arányával (LDoF,  $P < 0,05$ ) nem meglepő, de a korai elhaltak (EDoF;  $P < 0,05$ ) korreláció újabb kérdéseket vet fel. Érdekes módon a letapadt embriók aránya (STCKoF) is a késői elhalt embriókkal (LDoF) mutatott pozitív összefüggést ( $P < 0,05$ ).
- A 18 napig előkeltett tojások szállítása csak a 3. típusú rendellenes fekvésben (balra fordított fej, LWoF) okozott 0,05 szinten szignifikáns eltérést.
- A forgatás a tárolás alatt kissé váratlanul, negatív módon befolyásolta a HOF és HOV ( $P < 0,05$ ) kelési eredményeket, amire magyarázat lehet, hogy a törött tojások arányával viszont pozitív korrelációt mutatott ( $P < 0,001$ ).
- Torzképződmények (MALFoF) és mindhárom kelési % (HOS, HOF, HOV;  $P < 0,001$ ) között negatív, míg a késői elhalt embriók (LDoF;  $P < 0,001$ ) és a befertőződött tojások aránya között ( $P < 0,05$ ) pozitív az összefüggés.

- A befertőződött tojások arányával a megrepedt szikhártya (MIX\_YOLK;  $P < 0,05$ ) és a késői elhalt embriók aránya (LDoF,  $P < 0,05$ ) is pozitív összefüggést mutatott. Ugyanakkor a késői elhalt embriók arányával a HOV és HOF szignifikáns, negatív kapcsolatban áll ( $P < 0,001$ ).

A MANOVA vizsgálat a független változók összes lehetséges kombinációjának hatását megvizsgálja az összes függő változóra, ami esetünkben 30 különböző hatásvizsgálatot jelent, mivel az egyes kezelések önálló hatását is ellenőrzi.

A 13. táblázatban csak azon függő változók és kombinációk összefüggéseit mutatom be, ahol bármelyik független változónál a szignifikanciaszint kisebb, mint  $P < 0,05$ .

## 13. táblázat:

## MANOVA szignifikanciaszint táblázat

	MANOVA összes faktor bevonása, korrigált modell	VIBRÁCIÓ	SPIDES	VONAL	18 NAPOS SZÁLLÍTÁS	FORGATÁS	VIBRÁCIÓ * VONAL	VIBRÁCIÓ * 18 NAPOS SZÁLLÍTÁS	SPIDES * VONAL	VONAL * 18 NAPOS SZÁLLÍTÁS	VONAL * FORGATÁS
HOS <sup>a</sup>	,000	,000	,253	,912	,381	,957	,119	,504	,730	,833	,134
HOF <sup>b</sup>	,000	,000	,231	,094	,745	,292	,045	,345	,894	,921	,114
HOV <sup>c</sup>	,007	,004	,866	,136	,915	,287	,335	,548	,949	,928	,085
MXD_YOLK	,432	,448	1,000	,150	,629	,186	,056	,346	1,000	,303	,186
EDoF <sup>e</sup>	,000	,000	,047	,302	,622	,766	,030	,383	,899	,979	,822
MDoF	,155	,087	,769	,090	,238	,960	,279	,690	,851	,403	,281
LDoF <sup>f</sup>	,007	,010	,213	,546	,235	,429	,030	,425	,035	,041	,006
MALFoF	,313	,770	,333	,143	,789	,936	,119	,766	,531	,968	,678
MALPoF <sup>1</sup>	,026	,023	,059	,033	,228	,121	,863	,030	,884	,385	,782
CR <sup>1</sup>	,000	,000	,446	,547	,716	,617	,042	,596	,895	,848	,999
CONT	,241	,592	,292	,582	,818	,749	,307	,369	,609	1,000	,749
MEMoF	,241	,190	,404	,012	,507	,754	,246	,211	,549	,256	,128
UDoF	,099	,025	,052	,004	,054	,378	,953	,324	,299	,303	,378
HAWoF	,249	,167	,044	,023	,226	,104	,641	,106	,917	,686	,824
LWoF	,101	,802	,040	,566	,033	,073	,381	,228	,627	,168	,284
BLoF	,149	,164	,113	,075	,160	,928	,146	,646	,139	,160	,219
CULLSoF	,685	,208	,378	,355	,531	,873	,451	,431	,346	,131	,750
STCKoF	,336	,588	,255	,150	,142	,013	,516	,740	,586	,032	,042

a, b, e, j – a számított meghatározottsági együttható nagyobb, mint 0,5.

A táblázatból kiolvasható, hogy a keltethetőségi %-okra az összes vizsgált függő változó együttes hatásán kívül a vibráció és a Vibráció x Vonal interakció is szignifikáns hatással van. A 12. táblázatban bemutatott korrelációs mátrixból kiolvasható, hogy a keltethetőségi %-ok (HOS, HOF, HOV) a korai elhalt embriók arányával szoros, negatív, míg a késői elhalt embriók arányával közepes, negatív korrelációt mutatnak. Ezt a MANOVA elemzés is alátámasztotta a késői elhalt embriók és a rendellenes fekvés (MALPoF), azon belül is több, különböző (UDoF, HAWoF, LWoF), de főként a 6. számú rendellenes fekvés (HAWoF) kapcsolatát.

A törött tojások aránya (CR) mind az összes faktorra korrigált modellel, mind a Vibrációval, mind pedig a Vibráció x Vonal interakcióval szignifikáns összefüggést mutat.

A letapadt embriók aránya (STCKoF) összefüggést mutatott a forgatással és a Vonal x 18 napos szállítás és a Vonal x Forgasás interakciókkal.

A független és függő változók függvénykapcsolatának szorossága megállapítására meghatározottsági együtthatót (korrigált  $R^2$ ) értéket számol a program annak számszerűsítésére, hogy a lineáris regressziós egyenlet modell mennyire tudja jól megmagyarázni a függő változó variációját.

Szorosnak nevezhető a kapcsolat, ha az együttható értéke 0,70 feletti, 0,5 feletti érték a kapcsolat létezését igazolja, ez alatti érték azonban nem jelez kapcsolatot a változók között.

Ennek megfelelő meghatározottsági együtthatókkal rendelkeznek:

1. Termékeny tojásra vetített keltethetőség (HOF) korrigált  $R^2$ : 0,59
2. Berakott tojásra vetített keltethetőség (HOS), korrigált  $R^2$ : 0,56
3. Korai elhalt embriók aránya (EDoF) korrigált  $R^2$ : 0,52

Ezek alapján a fenti függő változókat regressziós analízisnek vetettem alá. Az SPSS beépített Stepwise modellépítő program választotta ki a független változók közül (vibráció, SPIDES, vonal, 18 napos szállítás, forgatás) azt a változót, amelyiket a regresszió javítására érdemes bevonni a modellbe.

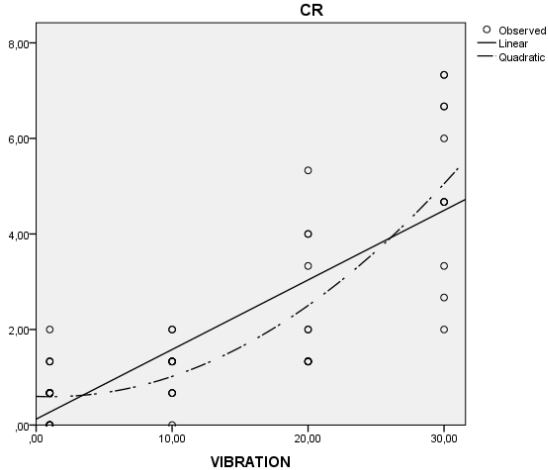
1. Törött tojások aránya (CR) korrigált  $R^2$

Bevont változó: Vibráció

A négyzetes közelítő, regressziós egyenlet:

$$CR = -0,011 \times VIBRÁCIÓ + VIBRÁCIÓ^{0,005} + 0,6 \quad (R^2 = 0,68)$$

22. ábra Törött tojások (CR) és a vibráció összefüggésének regressziós modellezése



Ahogy a grafikonon és a képletből is látható, a vibráció mértékének emelkedése emeli a törött tojások arányát (CR).

2. Termékeny tojásra vetített keltethetőség (HOF) korrigált  $R^2$ : 0,592

Bevont változó: Vibráció, vonal

Lineáris regressziós egyenes képlete:

$$HOF = -0,452 \times VIBRÁCIÓ - 3,573 \times VONAL + 91,94 \quad (R^2 = 0,464)$$

Gyenge a kapcsolat és más típusú közelítő grafikonnal sem javult a meghatározottsági együttható. Ugyanakkor a képletből látható, hogy az apai vonalaknál a keltethetőség nagyobb mértékben romlik a vibráció emelkedésével, ahogy arra már az előző vizsgálatok is rávilágítottak.

Berakott tojásra vetített keltethetőség (HOS), korrigált  $R^2$ : 0,566

Bevont változó: Vibráció, SPIDES

Lineáris regressziós egyenes képlete:

$$HOS = -0,460 \times VIBRÁCIÓ + 3,701 \times SPIDES + 72,12 \quad (R^2 = 0,463)$$

Részben igazolódik a feltételezés, hogy a SPIDES kezelés ellensúlyozhatja a vibráció kelési eredményre gyakorolt negatív hatását. Ugyanakkor nem szabad eltekinteni attól, hogy a közelítő egyenes magyarázó értéke gyenge.

### 3. Korai elhalt embriók aránya (EDoF) korigált $R^2$ : 0,519

Bevont változó: Vibráció, SPIDES

Lineáris regressziós egyenes képlete:

$$\text{EDoF} = 0,257 \times \text{VIBRÁCIÓ} - 2,204 \times \text{SPIDES} + 9,622 \quad (R^2 = 0,429)$$

Ugyan ez is gyenge regresszió, de jól látszik, hogy ugyanaz a két független változó ellentétes előjellel befolyásolta a két egymással negatívan korreláló függő változót.

### *Összegzés*

A különböző tenyésztési vonalak eltérő mértékben profitálnak a SPIDES kezeléssel, a tárolást nehezebben viselő - azaz magasabb korai elhaltembrió-aránnyal reagáló - vonalban a SPIDES kelésjavító hatása nagyobb mértékű volt, különösen többszöri kezelés esetén.

Ez alátámasztja Dymond és munkatársai (2013) eredményét, ami szerint a több ízben végrehajtott rövid idejű SPIDES kezelés a kelési eredményt előnyösen befolyásolja.

Amikor csupán a közúti szállítással váltottam ki mechanikai hatást ( $\text{RSMx } 9,11 \text{ m/s}^2, 26,48 \text{ m/s}^2$  x tengely irányába mért maximális gyorsulás), az nem volt statisztikailag igazolható hatással a kelésre. A SPIDES ellensúlyozta viszont az idősebb tojáskor hatását.

A kísérlet eredményei alapján, nem szükséges a mechanikai behatás és a SPIDES kezelés közötti összefüggésre várni, viszont a SPIDES és a keltetés megkezdése között legalább 24 óra teljen el.

A CFM gépen közölt mechanikai behatás legnagyobb kártétele a törött/hajszálrepedt tojások megnövekedett aránya, ami a kelési eredményeket is jelentősen befolyásolta, és ami szoros korrelációt ( $P < 0,001$ ). A hatást 20 és 30 Hz-en kiváltó, számított RSMx értékek: 10,85 és 13,58  $m/s^2$ , míg az x-tengely irányában történt maximális gyorsulási értékeik: 18,64 és 30,9  $m/s^2$ .

A vizsgálatban alkalmazott közúti szállítási körülmények nem befolyásolták negatívan a keltethetőséget, azonban az a tény, hogy a rendellenes fekvések arányának emelkedése korrelációt mutat a 18 napos keltetőtojás-szállítással, elgondolkodtató, és esetleg az embriók diszkomfort érzetével magyarázható.

A számított regressziós egyenes magyarázó értéke 50 % alatti, de az látszik, hogy amíg a vibráció negatívan, addig a SPIDES kezelés pozitívan befolyásolja a keltethetőséget.

$$HOS = -0,460 \times VIBRÁCIÓ + 3,701 \times SPIDES + 72,12 \quad (R^2 = 0,463)$$

A fenti képletek és üzemi megfigyelések használatával egyszerű gazdaságossági számítás is végezhető.

A számításhoz két korcsoport kialakítása javasolt: az 1. fiatal és csúcstermelési időszak körüli (45. élethétig), a 2. középidős, idős (45 élethétől). Az előzetes adatok alapján meg kell állapítani a törött tojások arányát ebben a két korcsoportban. A két időszak alatt tervezett termelést meg kell szorozni az állománylétszámmal, ezután vagy a tenyésztójás átlag piaci árával, vagy – piaci helyzettől és érdekeltségtől függően –, naposcsibe esetén a technológia alapján tervezett keltethetőséggel és a naposcsibe árával kell számolni, majd a két összeget össze kell adni, azaz

Tenyésztojás veszteség (EUR) =  $\sum_{1.+2.}(\text{CR}\% \times \text{tervezett termelt tojás} \times \text{EUR/db tojás})$

Naposcsibe veszteség (EUR) =  $\sum_{1.+2.}(\text{CR}\% \times \text{tervezett termelt tojás} \times \text{várható kelés} \times \text{EUR/db naposcsibe})$ .

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Ahogy a bevezetésben kiemeltem, a baromfiágazaton belül, a keltethetőség gazdaságosságának javítása érdekében vizsgáltam a mechanikai hatás okozta veszteségeket.

Gazdasági számítás végezhető azokból az adatokból, amelyek kimutatják, hogy a nem megfelelő tojáskezelési technológia, illetve tojásszállítás okán mennyi a veszteség és a bevételkiesés.

Az előző fejezetben leírt egyszerű számítás elvégzésével egy összegben kifejezhető a mechanikai hatás által generált veszteség. Így a termelés döntéshozói számára segítség lenne megítélni, hogy hány állomány termelési ideje alatt térülne meg egy megfelelő tojásszállító jármű, vagy a megfelelő tojáskezelés kialakítása. Így szembesülnének az egy összegben „elfolytatott” tojások árával, ami realisabb képet nyújtana, mint a látszólag kevés napi veszteség.

Ajánlatos a különböző termelési időszakokra vonatkozó számításokat külön is elemezni, hiszen egyszerű módosításokkal mérsékelhető a 2. időszakban elvesztett tenyésztójások aránya (papírtálca-használat, jobb testtömegkontroll, tojáskehéjminőség javítása, megfelelő kehelyméret).

Ennél a számítási tételnél egymással szembe kell állítani a papírtálca-használat esetén felmerülő termékdíjat és újrafelhasználási vagy megsemmisítési költséget, míg műanyag tálca esetén a mosás és fertőtlenítés járulékos költségeit (víz-, vegyszer- és munkaerőigény), valamint a nem megfelelő fertőtlenítésnek, szárításnak tulajdonítható – bakteriális eredetű – további veszteségeket.

A megfelelő ponton történő beruházás érdekében meg kell határozni, hogy hol veszik el a legtöbb tenyésztójás. Az 6. táblázatban feltüntetett

értékekből kitűnik, hogy különböző rendszereknek más-más helyen lehet a kritikus pontja, ezek feltárásával célzott, helyesbítő tevékenységi tervet tudunk felállítani.

Amennyiben az automatizálás problémái okozzák a gazdasági veszteséget, nagyobb nyomást tudunk kifejteni az automatizáló cégre, ha a gazdasági számítás segítségével kimutató számukra a berendezés által okozott kár.

Amennyiben a tojásbeszállítás okozza a gondot, nem lehet eltekinteni attól, hogy a gépjármű nem megfelelő. Ebben az esetben légrugós gépjármű beszerzése az elsődleges cél, vagy a meglévő felülvizsgálata, mivel az útviszonyok általában adottak.

Amennyiben a gépjármű megfelelő, a Webeye és a kötelező tachograph tényleges ellenőrzése ad támpontot a vezetési stílusról.

Ami mindehhez az egyik legegyszerűbb megoldás, az az általam alkalmazott módszer, ami minimális időt, eszközt és munkaerőt igényel. Egy HOBO logger bekerülési költsége - ami a vizsgálatok során a leghasznosabbnak bizonyult - jelen piaci helyzet mellett is kevesebb, mint 60 db szülőpártozás árával egyenlő, a további költségek pedig szembeállíthatók a számított tenyésztojás/naposcsibe veszteséggel.

Annak megállapítása, hogy a tojáskezelés vagy a beszállítás során történik-e a tenyésztojás veszteség, a HOBO logger használatával egyszerű. Mindössze naplózunk kell az egyes technológiai lépésekben eltöltött idejét, majd az adatok kiértékelésekor beazonosítjuk, mikor és hol mérte a szélsőséges értékeket.

A korrekcióra szoruló pont gondos megfigyelésekre is alapozható. A töréskép megállapítása a technológiai szakaszok végén akár szabad

szemmel vagy erős fényű lámpával (2., 19. képek) szintén támpontot nyújthat.

Ha HOB0 logger rendelkezésre áll, az adataiból számított RMS-ekből a behatás iránya és ezen keresztül a technológiai hiba típusa is meghatározható. A számított RSS-ek pedig alkalmasak a különböző szállítások és alkalmazott technológiák számszerűsítésére, összehasonlítására.

Ugyanakkor az RMS és RSS számított értékei elkendőzhetik, ha például egy hatalmas behatás érte a tojást egy hosszabb időtartamú mérés alatt.

Gondoljunk csak bele, hogy egy tojást összetörni egy pillanat műve is lehet (32. kép).

Tehát hasznos információt ad a maximum-minimum értékek kiértékelése is, mivel célunk a behatás mértékének csökkentése (Carter, 1970), illetve a behatások gyakoriságának megszámlálása, mivel, ha mérsékelni tudjuk a behatások mértékét, gyakoriságát és időtartamát, azzal kíméletesebb szállítási körülményeket biztosítunk (Nazareno, 2013).

A behatás mértékét kritikus szintre emelheti, ha műanyag tálcát használunk. Itt sem feltétlenül a behatás időtartama a kritikus, sokkal inkább az erő, hiszen 5 perc kezelés 20 Hz-en is szignifikánsan emelte a törött tojások arányát és a megmaradt tojások keltethetőségét (különböző behatási idők, tálcátípusok és vonalak vizsgálata kísérletsorozat). Ez felhívja a figyelmet arra, hogy a mechanikai behatás nem csak kívülről látható kártételt okoz.

A műanyag- vagy előkeltebb tálcás szállítás látszólag költséghatékony megoldás, de értékelni szükséges a szállításra használt tálca kíméletességét

(30. kép) és mérlegelni kell azt is, hogy esetleg a nem megfelelő tálcaválasztás okozott-e károkat.

Amennyiben műanyag tálcát használunk, értékeljük annak a tojásra gyakorolt hatását, alkalmasságát a tojásszállításra. Fontos a megfelelő kehelyméret is (6. kép), hiszen az alulméretezett kehely tojástörést okozhat, a túlméretezett tálca pedig ahhoz vezet, hogy a tojások mozgástere túl nagy. Ez szélsőséges esetben olyan mértékű mozgást vált ki, hogy a tojás extrém mértékben ütődik az azt körbe vevő kehelyhez, ami végül ahhoz is vezethet, hogy a tojás átfordul a tálcán.

Ha már együtt kell élni a technológia kíméletlenségével, az okozott kár mérsékelhető különböző technológiai módszerekkel.

Az egyik lehetőség az, ha a tojásokat pihentetjük a keltetés megkezdése előtt (különböző behatási idők, tálcátípusok és vonalak vizsgálata kísérletsorozat).

Mivel üzemi körülmények között rákényszerülünk, hogy a beérkezett tojásokat minél előbb keltetőgéphez rakjuk, a végrehajtott kísérletek alapján már 12 órás, 16-17 °C-on történő tárolás látszólag olyan nyugalmi helyzetbe hozza a csírákorongot, hogy minimális veszteséggel indítható a keltetés (a záró kísérletsorozat eredményei alapján).

Amennyiben tudjuk, hogy mechanikailag károsítottuk a tojásokat, a SPIDES alkalmazása ellensúlyozhatja a kárt akkor is, ha a tárolás ideje nem több mint 7 nap.

Ügyeljünk arra is, hogy a SPIDES kezelés és a beszállítás között is teljen el legalább 12 óra.

Több mint 7 nap tárolásnál a kétszeri, időben arányosan elosztott SPIDES kezelés még kedvezőbb ellensúlyozó hatással van a kelési eredményekre.

Egyes önhordó tálcátípusok (32. kép) alkalmasak lehetnek SPIDES kezelés kivitelezésére is, ha nincs idő feltálcázni a tojásokat, mivel a tojások között biztosított a légáramlás és így az egyenletes felmelegedés a hatásos hőfokra.

Ilyenkor ügyeljünk arra, hogy a SPIDES kezelés és a keltetés beindítása között legalább 24 óra teljen el 16-18 °C tárolási hőmérséklet mellett, hogy a csírákorong nyugalmi állapotba kerüljön.

Előkeltetett tojások szállításánál 9,2 m/s<sup>2</sup> RSS nem befolyásolta negatívan a keltethetőséget és a törött/hajszálrepedt tojások arányát, de a kísérletben fiatal állományok tojásait használtuk, amelyek tojástömege kicsi és jó a héjminősége. Feltételezhetően nagyobb tojástömeg és vékonyabb tojánhéj esetén ez változhat. A szállítás alatti tojánhéjhő-emelkedés és feltételezhetően a diszkomfortnak tulajdonítható megemelkedett rendellenes embriófekvések aránya arra enged következtetni, hogy állatjóléti szempontokat is figyelembe kell vennünk, amikor ezt a technológiai folyamatot ellenőrizzük.

A CFM gép jól alkalmazható a mechanikai hatás modellezésére, mivel abban a vibrációs tartományban működik, ami hasonló a tojásokat ért hatásokhoz. A behatás ismételhető és a közölt mechanikai behatás mértéke fokozatokban változtatható.

A tojás alakú házba helyezett HOB0 logger jobban alkalmazható, mint más loggerek, mert beültethető a tálcára, így pontosabb mérési eredményt nyújt, mintha a szállítójármű padozatára helyeznék vagy a szállítóeszközre rögzítenénk. A koordinátarendszerben a három irányban történő mérés lehetővé teszi a behatás irányának és típusának meghatározását, az RMS és RSS számítást, így összehasonlítható, számszerűsített adatokat kapunk.

Mindenesetre, ha a selejt csibék között megjelennek szám feletti végtaggal rendelkező naposcsibék (36. kép), feltétlenül ellenőrizzük a tojáskezelés, szállítás kíméletességét.

37. kép: Szám feletti végtagokkal kelt, selejt naposcsibe



## 6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A kísérletek során megerősítést nyert, hogy a kutatásban használt vibrációs modellező eszköz alkalmas a szállítási és tojáskezelési körülmények szimulálására.
2. A vizsgálatok során a vibráció okozta, eddig kevésbé ismert, ún. pókhálós tojáshéj töréskép egyértelmű beazonosítása megtörtént. Ebből kifolyólag üzemi körülmények között is felismerhetővé válik a vibráció okozta tenyésztojás kiesés.
3. Megállapításra került, hogy a mechanikai hatás mértékének nagyobb a jelentősége, mint a tojástálca anyagának vagy a behatás időtartamának.
4. A kísérletek során a mechanikai hatás mértéke szoros korrelációt ( $r = 0,72$ ) mutatott a törött és hajszálrepedt tojások, és a keltetés korai szakaszában elhalt embriók arányával ( $r = 0,72$ ), és elsősorban ezen keresztül negatívan befolyásolta a keltetés sikerességét.
5. Megállapításra került, hogy a fiatal, eltérő genetikai hátterű állományok tojásaira gyakorolt,  $10,85 \text{ m/s}^2$  számított RSS értékű mechanikai hatás szignifikánsan emelte a törött és hajszálrepedt tojások arányát, míg  $13,58 \text{ m/s}^2$  RSS értékű mechanikai hatás szignifikáns negatív hatással van a termékeny tojásra vetített keltethetőségre.
6. A kísérletek alapján megállapítható, hogy a tárolás alatti rövid idejű előkeltetés (SPIDES) ellensúlyozhatja a mechanikai hatás negatív következményét, amennyiben a mechanikai hatást követően végezzük a SPIDES kezelést, majd a keltetés beindításával legalább 24 órát várunk. Várakozási idő nélkül a Vibráció x SPIDES interakció a keltetés közepső

szakaszában az elhalt embriók és a torzképződmények tekintetében szignifikánsan ( $P < 0,05$ ) negatív hatású.

7. A vizsgálatok során az is bizonyítást nyert, hogy különböző genetikai háttérrel rendelkező húshibrid szülőpár vonalak szignifikánsan ( $P < 0,05$ ) eltérő érzékenységgel reagálnak a mechanikai hatásra (rázkódás), és szoros interakciót mutatnak mind a mechanikai, mind a SPIDES kezeléssel.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A szülőpártartás eredményességét a beolazott tojótyúkra vetített keltetőtojás és naposcsibe kibocsátás határozza meg. Ennek ellenére a tojásszállítás és tojáskezelés technológiai lépései szinte ellenőrizetlenül folynak, míg a mechanikai hatások nem csak tojástörést, hanem keléscsökkenést is okozhatnak. A széles körben elérhető mechanikai hatást mérő eszközökhöz nem tartozik ajánlás, hogy milyen érték fölött okoz veszteséget a behatás mértéke.

A dolgozat az üzemi és kísérleti körülmények között végrehajtott méréseket, számításokat és a mechanikai hatás különböző kártételét mutatja be.

Az adatokból számított RMS (négyzetes középérték) és RSS (négyzetgyökösszeg) a különböző technológiai lépéseket és a beállított kísérletek alatt mért hatásokat is összehasonlíthatóvá teszi.

A kísérletek során megerősítést nyert, hogy a kutatásban használt vibrációs modellező eszköz alkalmas a szállítási és tojáskezelési körülmények szimulálására. Alkalmazásával a mechanikai hatások kontrolláltak és ismételhetők voltak.

A keléscsökkenést főként a keltetés korai szakaszában elhalt embriók arányának emelkedése okozta. Ez az arány a mechanikai hatás mértékével nőtt, szoros, szignifikáns kapcsolatot mutatott ( $r=0,72$ ).

A különböző tojástálcák összehasonlítása során a legkíméletesebb csomagolóanyagon (papírtálcán) végrehajtott 5 perces vibráció is megemelte a korai elhalt embriók arányát ( $P<0,05$ ),

Ezért megállapításra került, hogy a mechanikai hatás mértékének nagyobb a jelentősége, mint a tojástálca anyagának vagy a behatás időtartamának.

Ugyanakkor a műanyag tálcán végzett kezelés szignifikánsan rontotta a tojások keltethetőségét, a papírtálcához viszonyítva, amikor ugyanolyan szintű vibrációs kezelésben részesültek. 5 perc kezelés 20 Hz-en, műanyag tálcán szignifikánsan emelte a törött tojások arányát és az épen maradt tojások keltethetőségét. Ebben a kísérletben is a korai elhalt embriók aránya nőtt, mint az üzemi megfigyelésben és a korábbi kísérletekben.

Mivel a tárolás alatti előzetes keltetés (SPIDES) bizonyítottan csökkenti a korai elhalt embriók arányát, a következő kísérletsorozatban ez is a vizsgálat tárgyát képezte.

Az eredmények azt mutatták, hogy a SPIDES ellensúlyozhatja a mechanikai hatás negatív következményét, amennyiben a mechanikai hatást követően végezzük a SPIDES kezelést, majd a keltetés beindításával legalább 24 órát várunk. Várakozási idő nélkül a Vibráció x SPIDES interakció a keltetés középső szakaszában az elhalt embriók és a torzképződmények tekintetében szignifikánsan ( $P < 0,05$ ) negatív hatású.

A torzképződmények nem a keléscsökkenés fő oka, de megjelenésük jelzés értékű. Több kísérletben szignifikánsabb magasabb arányt mutattak a torzképződmények, amikor a vibráció és a keltetés beindítása között kevesebb, mint 24 óra telt el.

A vizsgálatok során az is bizonyítást nyert, hogy különböző genetikai háttérrel rendelkező húshibrid szülőpár vonalak szignifikánsan ( $P < 0,05$ ) eltérő érzékenységgel reagálnak a mechanikai hatásra (rázkódás), és szoros interakciót mutatnak mind a mechanikai, mind a SPIDES kezeléssel.

A dolgozatban szereplő előzetes mérések támpontot nyújthatnak a közúti szállítások és mechanikai behatással járó technológiai lépések sarkalatos

pontjaira és információt ad a gyakorlati szakembereknek, hogy az általuk mért üzemi eredmények mellett milyen szintű veszteségre számíthatnak.

A jelen munkában megállapításra került, hogy  $10,85 \text{ m/s}^2$  számított RSS értékű mechanikai hatás szignifikánsan emelte a törött és hajszálrepedt tojások arányát, míg  $13,58 \text{ m/s}^2$  RSS értékű mechanikai hatás szignifikáns negatív hatással van a termékeny tojásra vetített keltethetőségre. Ezek az eredmények fiatal, eltérő genetikai háttérű állományok tojásaira gyakorolt hatásra vonatkoznak.

A leírt mérőeszközök alkalmazására vonatkozó módszerek és vizuális technikák – mint a pókhálós tojáshéj törésképp nyomon követése – már létező monitoringrendszerekbe is beépíthetők.

## 8. SUMMARY

The profitability of broiler breeder farming is measured by the number of hatching eggs and day-old chicks produced. However, the technological processes of egg transport and egg handling are largely unmonitored, leading to mechanical impacts that can cause egg breakage and reduced hatchability. Currently, widely available devices for measuring mechanical impact lack recommendations for thresholds at which damage occurs.

This thesis presents measurements, calculations, and the various damages caused by mechanical impacts in both field and experimental conditions. RMS (root mean square) and RSS (root sum of squares) values derived from the data enable comparisons of different technological steps and the effects observed during experiments.

Experiments confirmed that the vibration modelling equipment used is effective for simulating transport and egg handling conditions, allowing for controlled and repeatable mechanical impacts. The decrease in hatchability was primarily due to an increase in the proportion of embryos died early phase of incubation, which correlated strongly with the degree of mechanical impact/vibration ( $r=0.72$ ).

Comparing different egg trays, even the gentlest packaging material (paper tray) subjected to a 5-minute vibration increased the proportion of early dead embryos ( $P<0.05$ ). This finding underscores that the degree of mechanical impact is more critical than the material of the egg tray or the duration of the impact.

However, plastic trays significantly worsened hatchability compared to paper trays under identical vibration conditions. Five minutes of vibration

at 20 Hz on plastic trays notably increased egg breakage and reduced hatchability of intact eggs, also by raising the proportion of early dead embryos.

SPIDES (short periods of incubation during storage) ) method, proven to reduce early dead embryo rates, and subsequent experiments investigated its mitigating effects on mechanical impact. Results indicated that SPIDES could counteract mechanical damage if applied post-impact, with a 24-hour wait before launching the incubation. Without this waiting period, the combined effects of vibration and SPIDES were significantly negative ( $P < 0.05$ ) for mid-stage embryo mortality and deformities. Deformities were not the primary cause of reduced hatchability but served as an indicator. Malformed embryos were more prevalent when less than 24 hours elapsed between vibration and starting the incubation.

Tests also showed that different broiler breeder parent lines with varying genetic backgrounds responded significantly differently ( $P < 0.05$ ) to mechanical impact/vibration and showed significant interactions with both mechanical and SPIDES treatments ( $P < 0.05$ ). Preliminary measurements in the thesis provide insights into the critical points of road transport and technological steps involving mechanical impacts, informing practitioners about expected losses beyond operational results.

The study found that an RSS value of  $10.85 \text{ m/s}^2$  significantly increased egg breakage, while an RSS of  $13.58 \text{ m/s}^2$  had a severe negative effect on hatchability in young flocks with different genetic backgrounds. The methods and visual techniques described, such as tracking the refraction image (“spider web”) of an eggshell, can be integrated into existing monitoring systems.

**IRODALOMJEGYZÉK**

**Altuntas, E.; Sekeroglu, A.** Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *Journal of Food Engineering*, v.85, p.606-612, 2008.

**Anderson, G. B., Carter, T. C.; Jones, R. M. (1969).** Some factors affecting downgrading in eggs, especially damage in transit. *Br. Poult. Sci.* 10.45-52.

**ASTM (1994)** Selected ASTM Standards on Packaging, 4th edition, ASTM, Philadelphia, PA

**Aviagen Tech -**

Hatchery\_How\_Tos/09HowTo9ImproveHatchabilityStoredEggsAviagen (2015) Tech

Tech\_Center/Broiler\_Breeder\_Tech\_Articles/English/AVIA-BestPractice-HatcheryTransfer-2015-EN

**Bakst MR, Akuffo V, Nicholson D, French N.** Comparison of blastoderm traits from 2 lines of broilers before and after egg storage and incubation. *Poult Sci.* 2012 Oct;91(10):2645-8. doi: 10.3382/ps.2011-02118. PMID: 22991552.

**Bennett, C. D. (1992)** Influence of egg weight on egg breakage in the field, *J. Appl. Poultry Res.* 1: 399-402.

**Berardinelli, A., Donati, V., Giunchi A., Guarnieri A., Ragni L. (2003a)** Effects of sinusoidal vibrations on quality indices of shell eggs. *Biosyst. Eng.* 86:347-53.

**Berardinelli, A., Donati, V., Giunchi A., Guarnieri A., Ragni L. (2003b)** Effects of Transport Vibrations on Quality Indices of Shell Eggs *Biosystems Engineering*, 86 (4), 495–502

- Besch**, E. L., A. H. Smith, and S. Goren (1965a) The effect of accelerative forces on avian embryogenesis; *Journal of Applied Physiology* November 1, 1965 vol. 20 no. 6 1232-1240
- Besch**, E. L., A. H. Smith, and M. W. Walker (1965b) Morphological changes in avian eggs subjected to accelerative force; *Journal of Applied Physiology* November 1, 1965 vol. 20 no. 6 1241-1248
- Boerjan**, M. (2008) Chick vitality and uniformity. *International Hatchery Practice — Volume 20 Number 8*
- Bogenfürst** F. (2000) *Keltetés, Gazda könyvkiadó, ISBN 963 7445 34 X*
- Bovenzi**, M., (2005) Health effects of mechanical vibration, *G Ital Med Lav Erg* 2005; 27:1, 58-64
- Chambers**, L.A., Flosdorf, E.W. The denaturation of proteins by sound waves of audible frequencies , *Journal of Biological Chemistry*, Volume 114, Issue 1, 1936, 75-83,  
ISSN 0021-9258, [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(20\)65198-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(20)65198-5).
- Carter**, T.C. (1970) Why do eggshells crack? *World's Poultry Science Journal*, 26: 549–561
- Corti**, E., E. Vogelaar (2012) The oldest hatcheries are still in use, *Aviculture Europe*, 12e03a08
- Dareste**, Camille (1891) *Recherches sur la production artificielle des monstruosités ou, Essais de tératogénie expérimentale par m. Camille Dareste* Published 1891 by C. Reinwald & cie in Paris
- Deeming**, D.C. (2000) Storage of hatching eggs. *Poultry International*, November 44-50.
- De Lange**, G. (2012) Hatching egg transport, *Pas Reform White paper* 63

**Doherty, A.** (2021) What is Mechanical Vibration Analysis and Why is it Important? <https://harksys.com/blog/what-is-vibration-analysis-and-why-is-it-important/>

**Donofre, A. C.;** Silva, I. J. O. da; Nazareno, A. C. (2014) Vibrações mecânicas: um agente estressor no transporte de pintos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.454-458, 2014.

**Donofre A. C.,** Silva, I. J. O, Nazazerno A. C. , Ferreira I. E. De P. (2017) Mechanical Vibrations in the Transport of Hatching Eggs and the Losses Caused in the Hatch and Quality of Broiler Chicks *Journal of Agricultural Engineering* Vol 48, No 1.

**Dymond J.,** Vinyard B., Nicholson A. D., French N. A., Bakst, M. R. (2013) Short periods of incubation during egg storage increase hatchability and chick quality in long-stored broiler eggs. *Poultry Science* 92 :2977–2987

**Eichele G.,** Tickle C., Alberts BM., (1985) Studies on the mechanism of retinoid-induced pattern duplications in the early chick limb bud: temporal and spatial aspects, *J Cell Biol.* 1985 Nov;101(5 Pt 1):1913-20.

**Ernst, R.A,** G.W. Johnston (1977) Shell damage in mechanical egg gathering systems-a California study, *Progress in Poultry* 1977. February 1-8.

**Eyal-Giladi H.,** Kochav S. (1976) From cleavage to primitive streak formation: A complementary normal table and a new look at the first stages of the the development of the chick I. General morphology. *Dev. Biol* 49: 321-337

**Fasenko**, G.M., Robinson, F.E., Christensen, V.L. (2009) Effects of long term storage on the egg, embryo and chick. *Avian Biology Research* 2, 73-75.

**Gebresenbet** G., Aradom, S., Bulitta, F.S., Hjerpe E. (2011) Vibration levels and frequencies on vehicle and animals during transport, *Biosystems Engineering*, Volume 110, Issue 1, September 2011, Pages 10–19

**Geoffroy Saint-Hilaire**, É: Des différents états de pesanteur des oeufs au commencement et à la fin de l'incubation. *Journal complémentaire des sciences médicales*, t. VII, P. 271. 1820.

**Goren**, S., E.L. Besch (1963) Utilization of available space in rocket flights for biological research. Technical memorandum PMR-TM-63-2, Pacific missile range, Point Mugu, Calif.

**HOBO** Pendant G Data Logger (UA-004-64) White Paper <https://www.onsetcomp.com/sites/default/files/resources-documents/16920-A%20Pendant%20G%20White%20Paper.pdf>

**Hamburger**, V; Hamilton, H.L. (1951). A series of normal stages in the development of the chick embryo. *Journal of Morphology*. 88 (1): 49–92. doi:10.1002/jmor.1050880104

**Itabashi**, T , Terada, Y., Kuwana. K., Kan, T. , Shimoyama, I. , Ishiwata, S. (2012) Mechanical impulses can control metaphase progression in a mammalian cell, *PNAS*, vol. 109., no.19, 730-7325

**Knox**, C.W., Olsen, M.W., (1936) The effect of tremolous air cells upon the hatchability of eggs. *Poultry Science* Vol. XV. No. 4. 345-348.

**Lambrechts, B., Brand., H., Carney, V** (2013) Effects of vibration on blastoderm cell viability and embryonic development in chicken eggs. Wageningen University and University of Alberta cooperate PhD publication

**Landauer, W., and L. Baumann** (1943) Rumplessness of chicken embryos produced by mechanical shaking of eggs prior to incubation. *J. Exp. Zool.* 93: 51-74.

**Lizurek P.** (1973) Effect of low-frequency mechanical vibration on oxygen uptake in chick embryo during embryogenesis. *Acta Physiol Pol.* 1973 Jul-Aug;24(4):551-60.

**Lohmann** (2015) Poultry News by Lohmann 2015/1 <https://lohmann-breeders.com/pre-incubation-to-improve-the-hatchability-of-stored-eggs/>

**Mammoto, T., Ingber, D.E.** (2010) Mechanical control of tissue and organ development, *Development.* 137(9): 1407–1420.

**McDougal, T.** (2023) Can sound alter layer gene expression? *Poultry World News Letter* 27-09-2023

**Mertens, K., Bamelis, F., Kemps, B., Kamers, B., Verhoelst, E., De Ketelaere, B., Bain, M., Decuyper, E., De Baerdemaeker, J.** (2006) Monitoring of Eggshell Breakage and Eggshell Strength in Different Production Chains of Consumption Eggs, 2006 *Poultry Science* 85:1670–1677

**Nazareno, A.C.; Silva, I.J.O.; Vieira, A.M.C.; Vieira, F.M.C; Miranda, K.O.S** (2013) Níveis de vibração e choques em diferentes estradas durante o transporte de ovos férteis

Construções Rurais e Ambiência • Rev. bras. eng. agríc. ambient. 17 (8)  
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800015>

- Nazareno**, A.C. ; Iran J. O. da Silva; Afrânio M. C. Vieira; Frederico M. C. Vieira; Késia O. S. Miranda (2014) Transporte de ovos férteis: Influência das idades das matrizes, tempos de estocagem e das estradas  
Transport of fertilized eggs: Influence of breeder age, storage period and road, Construções Rurais e Ambiente, Rev. bras. eng. agric. ambient. 18 (3) • Mar 2014 • <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300014>
- Nedomová**, Š., Trnkab, J., Dvořákováb, P., Buchara, J., Severaa L. (2009) Hen's eggshell strength under impact loading, Journal of Food Engineering, Volume 94, Issues 3–4, October 2009, Pages 350-357,
- Nethercote**, C., C. Boivenu, and D. Fletcher (1974) Egg carton tests. Poultry Science 53:311–325.
- New**, D.A.T. (1959) The adhesive properties and and expansion of the chick balstoderm. Journal of Embryology and Experimental morphology 7, 331-341.
- Nordquist** R.E., Vernooij J.C.M., Dull, C.L., Pascual, A., G., van der Linde. G.C., Goerlich, V.C. (2022): The effects of transport of 18-day old hatching eggs on physiology and behaviour of slow growing broiler chicken Applied Animal Behaviour Science, Volume 257, December 2022, 105789
- Olkowski**, A., Laarveld, B. (2016) Trends in developmental anomalies in contemporary broiler chickens, International Hatchery Practice, Volume 28 Number 2.
- Olsen**, M.W., Byerly, T.C. (1938) Resistence of chicken embryo to mechanical disturbance, Journal of Agricultural Research, Vol. 56, No. 3, 221-226

- Olsen**, M.W. (1949) Effect of shipment on Pre-Incubated Fertile Eggs, Poultry Science 28 (5): 731-738
- Potter**, M.A.; Bassett, S.M. (2001) Effects of transportation-induced jarring on ratite embryo development and hatching success.; Conservation Advisory Science Notes No. 341, Department of Conservation, Wellington.
- Proudfoot**, F.G., (1969). Effect of packaging orientation, daily positional change and vibration on the hatchability of chicken egg stored up to four weeks. Can. J. Animal Sci. 49: 29-35
- Pupos T.**, Sütő Z., Szöllősi L. (2013) Versenyképes tojástermelés. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház
- Randall**, J. M.; Streader, W. V.; Meehan, A. M. (1993) Vibration on poultry transporters. British Poultry Science, v.34, p.635-642
- Randall J.M.**, Duggan, J.A., Alami, M.A., White, R.P. (1997) Frequency weightings for the aversion of broiler chickens to horizontal and vertical vibration. J. Agr. Engine. Res. 68:387-97.
- Randles**, C.A., Romanoff, A.L., (1954) A preliminary study on the hatchability of chicken eggs subjected to shaking agitation. Poultry Science 33, 374-377.
- Sabo V.**, Boda K., Peter V. (1982) Effect of vibration on the hatchability and mortality of embryos of Japanese Quails. Polnohospodarstvo 28, 6.
- Schmidt**, R.R., S. Kaplan, and J. J. Smith (1979) Oxygen consumption by chick embryos exposed to mechanical (shaking) stress; Journal of Applied Physiology February 1, 1979 vol. 46 no. 2 298-301

- Seydim** A. C., P. L. Dawson (1999) Packaging Effects on Shell Egg Breakage Rates During Simulated Transportation, *Poultry Science* 78:148–151
- Shannon**, S.G., Moran, A.W., Shackelford L.C., Mason, K.T. (1994) Effect of vibration frequency and amplitude on developing chicken embryos, USAARL Report No. 95-1.
- Steinke**, L. (1966) The effect of vibration on the hatchability of chicken eggs. *Arch. Geflügelkunde*, 31: 94.
- Stiles**, K.A., and R.L. Watterson (1937) The effect of jarring upon the embryogeny of chick embryos. *Anat.Record* 70: 7-12, 1937-1938
- Studinka** László Dr. (1977) *Mindennap vadásznak*, Gondolat kiadó, 73.o.
- Szöllősi** L., Molnár Gy., Sütő Z. (2014) Az étkezési tojástermelés jövedelmezőségét meghatározó tényezők ökonómiai értéke, *Acta Agraria Kaposváriensis* (2014) Vol 18 No 1, 30-49.
- Taggart**, L.C., Alem N.M., Frear H.M. (1990) Effect of vibration frequency and acceleration magnitude of chicken embryo on viability and development. USAARL report No. 91-1
- Tasnádi** P., Juhász A., Horváth G. (1994) *Fizika körülöttünk*, Múzsák kiadó ISBN:963-564-532-5
- TME** ismertető cikk (2020) <https://www.tme.eu/hu/news/library-articles/page/22568/Hogyan-mukodik-a-gyorsulasmero-es-mire-hasznaljak/>
- Tullett**, S. G (2009) *Ross Tech – Investigating Hatchery Practice*. Aviagen Ltd, Newbridge, Scotland.

**Vandenberg**, N. L., Pennarola, B.W., Levin, M. (2011) Low frequency vibrations disrupt left-right patterning in the *Xenopus* embryo. PLoS ONE 6: e23306

**Vandenberg** N. L, Stevenson, C., Levin M. (2012) Low Frequency Vibrations Induce Malformations in Two Aquatic Species in a Frequency-, Waveform-, and Direction-Specific Manner. PLoS ONE 7 (12): e51473. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051473>

**Walber**, M., Tamagna, A. (2010) Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual. Revista Liberato 11: 1 - 8.

**Young** D.L., Schneider R.A., Hu D., Helms J.A. (2000) Genetic and teratogenic approaches to craniofacial development, Crit Rev Oral Biol Med. 2000;11(3):304-17.

## **PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK**

### ***Tudományos közlemény, külföldi, idegen nyelvű lektorált folyóiratban:***

T.Á. Torma and K.G. Kovácsné (2024): Induced and field mechanical effects on the hatchability of broiler breeder hatching eggs

Europ.Poult.Sci., 88. 2024, ISSN 1612-9199, © Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. DOI: 10.1399/eps.2024.397,

### ***Tudományos közlemény, magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:***

Torma, Tímea Ágnes, Kovácsné, Gaál Katalin (2018): Különböző indukált mechanikai hatások alkalmazhatósága a gyakorlatban húshibrid tenyészállományok tojásainál

Állattenyésztés és Takarmányozás 67: 2 pp. 99-107, 9 p.

Torma, Tímea és Kovácsné Gaál, Katalin (2019) A mechanikai hatások befolyásoló szerepe húshibrid tenyésztőtojások sérülésére és a kelési eredményekre különböző típusú tojástálcákon. Animal Welfare, Etológia és Tartástechnológia, 15 (2). pp. 64-72. ISSN 1786-8440 <https://doi.org/10.17205/SZIE.AWETH.2019.2.064>

Torma, T. Á.; Kovácsné, Gaál K. (2023): A tojáskezelés és tojáskeltetés monitoringja különböző típusú adatrögzítő loggerekkel

Acta Agronomica Óváriensis - Vol. 64. Különszám 1. (2023): 112-118

***Idegen nyelvű konferenciaközlemény, folyóiratban vagy konferenciakötetben***

Torma, T ; Kovácsné, G. K. (2017)

Handle with care – controlling loss of hatching eggs and hatchability of broiler breeders due to mechanical impact, EUROPEAN POULTRY SCIENCE 81 pp. 13-14. , 2 p.

Torma, Tímea ; Kovácsné, Gaál Katalin (2013)

Effects of mechanical impacts on hatchability of Broiler breeders

In: Proceedings of Incubation and Fertility Research (IFRG) meeting conference. 12-13. , 2 p.

Torma, T ; Kovácsné, K. G. (2012)

Effects of mechanical impacts on hatchability of broiler breeders

In: Petr, Skarpa (szerk.) MendelNet 2012: Proceedings of International Ph.D. Students Conference

Brno, Csehország: Mendelova univerzita v Brne (2012) pp. 359-367., 9 p.

***Egyéb, más témakörben megjelent publikációk:***

Tímea Torma - Malgorzata Rempuszevska (2023) Monitoring temperature and cooling during incubation of geese eggs under field conditions

Europ.Poult.Sci., 88. 2024, ISSN 1612-9199, © Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. DOI: 10.1399/eps.2024.396, Proceedings of the 2023 Combined Workshop of the European Federation of the World's Poultry Science Association (WPSA) Working Groups 6 (Incubation and Fertility) and 12 (Physiology), Wroclaw, Poland, September 18–20, 2023

Timea Torma - Malgorzata Rempuszevska (2022) Monitoring cooling during incubation of geese eggs

In: Incubation and Fertility Research (IFRG) meeting conference (2022) Abstarct International Hatchery Practice 37.3, page 18

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Doktori munkám megszületését elsősorban témavezető tanáromnak, Kovácsné Dr. Gaál Katalin, CSc professor emerita, egyetemi tanárnak köszönhetem, akivel osztozunk a baromfik és a keltetés iránti lelkesedésben, aki disszertációm elkészítését szakmai javaslataival és javításaival folyamatosan segítette.

Dr. Steve Tullett-nek, aki a szülőatyja volt az első kísérletnek és ezzel elindította a disszertáció elkészítésének folyamatát.

Dr. Szalay Istvánnak, aki építő javaslataival segítette a dolgozat javítását. Köszönetet szeretnék mondani az Aviagen Kft.-nek, hogy biztosították a kísérletezéshez szükséges anyagokat, eszközöket és feltételeket.

Hálával tartozom a Hegyhát Br. Kft. vezetőinek és dolgozóinak, akik a bábolnai keltetőben beállított kísérleteimhez pozitívan és érdeklődve viszonyultak.

Köszönetet szeretnék mondani, jelenlegi kollégáimnak, az MSD Baromfiüzletág dolgozóinak és főnökömnek, Anna Poznanskának, akik lehetővé tették, hogy a dolgozatírásra és a felkészülésre tudjak koncentrálni.

Köszönöm az adminisztratív munkában nyújtott sokrétű segítséget Törökné Vas Mariannának.

Végezetül, de nem utolsó sorban köszönöm családom és kedvesem támogatását és türelmét.

## MELLÉKLETEK - Ross 308 nagyszülőpár teljesítménymutatók (2011)

[www.aviagen.com](http://www.aviagen.com)

1. melléklet: Anyai vonal (8-as vonal) heti tojástermelés

### ROSS 308 GRANDPARENT STOCK: Performance Objectives

#### Female Line (Line 8) Weekly Egg Production

Week Of Production	Age (days)	Age (weeks)	Hen Housed %	Hen Week %*	Eggs/Bird/ Week	Eggs/Bird Cum.	Hatching Eggs/Bird/ Week**	Hatching Eggs/Bird/ Week Cum.
1	175	25	5.1	5.1	0.36	0.36		
2	182	26	24.6	24.6	1.72	2.08		
3	189	27	42.5	42.7	2.98	5.06	2.33	2.33
4	196	28	60.4	60.8	4.23	9.29	3.62	5.95
5	203	29	79.0	79.6	5.53	14.82	5.12	11.07
6	210	30	82.1	82.9	5.75	20.57	5.49	16.56
7	217	31	81.7	82.7	5.72	26.29	5.53	22.09
8	224	32	80.5	81.6	5.64	31.93	5.52	27.61
9	231	33	79.2	80.5	5.54	37.47	5.44	33.05
10	238	34	78.0	79.4	5.46	42.93	5.37	38.42
11	245	35	76.8	78.4	5.38	48.31	5.29	43.71
12	252	36	75.6	77.3	5.29	53.60	5.20	48.91
13	259	37	74.3	76.1	5.20	58.80	5.11	54.02
14	266	38	73.1	75.1	5.12	63.92	5.03	59.05
15	273	39	71.9	74.0	5.03	68.95	4.94	63.99
16	280	40	70.6	72.8	4.94	73.89	4.85	68.84
17	287	41	69.4	71.7	4.86	78.75	4.77	73.61
18	294	42	68.2	70.6	4.77	83.52	4.68	78.29
19	301	43	67.0	69.5	4.69	88.21	4.58	82.87
20	308	44	65.7	68.3	4.60	92.81	4.48	87.35
21	315	45	64.5	67.2	4.52	97.33	4.38	91.73
22	322	46	63.3	66.1	4.43	101.76	4.32	96.05
23	329	47	62.0	64.9	4.34	106.10	4.21	100.26
24	336	48	60.8	63.7	4.26	110.36	4.12	104.38
25	343	49	59.6	62.6	4.17	114.53	4.02	108.40
26	350	50	58.3	61.4	4.08	118.61	3.92	112.32
27	357	51	57.1	60.2	4.00	122.61	3.83	116.15
28	364	52	55.9	59.1	3.91	126.52	3.72	119.87
29	371	53	54.7	57.9	3.83	130.35	3.64	123.51
30	378	54	53.4	56.7	3.74	134.09	3.53	127.04
31	385	55	52.2	55.5	3.65	137.74	3.44	130.48
32	392	56	51.0	54.4	3.57	141.31	3.35	133.83
33	399	57	49.7	53.1	3.48	144.79	3.26	137.09
34	406	58	48.5	51.9	3.40	148.19	3.17	140.26
35	413	59	47.3	50.8	3.31	151.50	3.07	143.33
36	420	60	46.1	49.6	3.23	154.73	2.99	146.32
37	427	61	44.8	48.3	3.14	157.87	2.90	149.22
38	434	62	43.6	47.1	3.05	160.92	2.80	152.02
39	441	63	42.4	45.9	2.97	163.89	2.72	154.74
40	448	64	41.1	44.6	2.88	166.77	2.63	157.37
41	455	65	40.0	43.5	2.80	169.57	2.55	159.92

2. melléklet: Anyai vonal (8-as vonal) heti keltethetőség és naposcsibe előállítás

### ROSS 308 GRANDPARENT STOCK: Performance Objectives

#### Female Line (Line 8) Weekly Hatchability and Chick Production

Week Of Production	Age (days)	Age (weeks)	% Hatch All Eggs*	% Cum. Hatchability	Chicks/Week Hen Housed	Cum. Chicks Hen Housed
1	175	25				
2	182	26				
3	189	27	77.3	77.3	1.80	1.80
4	196	28	78.4	78.0	2.84	4.64
5	203	29	79.8	78.9	4.09	8.73
6	210	30	81.3	79.6	4.46	13.19
7	217	31	82.3	80.3	4.55	17.74
8	224	32	83.4	80.9	4.60	22.34
9	231	33	84.4	81.5	4.59	26.93
10	238	34	84.9	82.0	4.56	31.49
11	245	35	85.1	82.3	4.50	35.99
12	252	36	85.3	82.7	4.44	40.43
13	259	37	85.3	82.9	4.36	44.79
14	266	38	85.2	83.1	4.29	49.08
15	273	39	85.0	83.3	4.20	53.28
16	280	40	84.9	83.4	4.12	57.40
17	287	41	84.8	83.5	4.04	61.44
18	294	42	84.4	83.5	3.95	65.39
19	301	43	83.8	83.5	3.84	69.23
20	308	44	83.3	83.5	3.73	72.96
21	315	45	82.9	83.5	3.63	76.59
22	322	46	82.4	83.4	3.56	80.15
23	329	47	81.4	83.4	3.43	83.58
24	336	48	80.3	83.2	3.31	86.89
25	343	49	79.4	83.1	3.19	90.08
26	350	50	78.3	82.9	3.07	93.15
27	357	51	77.4	82.7	2.96	96.11
28	364	52	76.3	82.5	2.84	98.95
29	371	53	75.5	82.3	2.75	101.70
30	378	54	74.3	82.1	2.62	104.32
31	385	55	73.4	81.9	2.52	106.84
32	392	56	71.9	81.6	2.41	109.25
33	399	57	70.6	81.4	2.30	111.55
34	406	58	69.6	81.1	2.21	113.76
35	413	59	68.4	80.8	2.10	115.86
36	420	60	67.5	80.6	2.02	117.88
37	427	61	66.6	80.3	1.93	119.81
38	434	62	65.6	80.0	1.84	121.65
39	441	63	64.6	79.8	1.76	123.41
40	448	64	62.9	79.5	1.65	125.06
41	455	65	61.2	79.2	1.56	126.62

## 3. melléklet: Apai vonal (4-es vonal) heti tojástermelés

**ROSS 308 GRANDPARENT STOCK: Performance Objectives****Male Line (Line 4) Weekly Egg Production**

Week Of Production	Age (days)	Age (weeks)	Hen Housed %	Hen Week %*	Eggs/Bird/Week	Eggs/Bird Cum.	Hatching Eggs/Bird/Week**	Hatching Eggs/Bird/Week Cum.
1	175	25	5.0	5.0	0.35	0.35		
2	182	26	15.0	15.0	1.05	1.40		
3	189	27	25.0	25.1	1.75	3.15	1.01	1.01
4	196	28	35.5	35.7	2.49	5.64	1.77	2.78
5	203	29	45.0	45.4	3.15	8.79	2.49	5.21
6	210	30	55.5	56.1	3.89	12.68	3.22	8.43
7	217	31	64.0	64.8	4.48	17.16	4.03	12.46
8	224	32	66.0	66.9	4.62	21.78	4.28	16.74
9	231	33	65.0	66.1	4.55	26.33	4.34	21.08
10	238	34	63.8	65.0	4.47	30.80	4.32	25.40
11	245	35	62.6	63.9	4.38	35.18	4.23	29.63
12	252	36	61.4	62.8	4.30	39.48	4.15	33.78
13	259	37	60.2	61.7	4.21	43.69	4.05	37.83
14	266	38	59.0	60.6	4.13	47.82	3.97	41.80
15	273	39	57.8	59.5	4.05	51.87	3.89	45.69
16	280	40	56.6	58.4	3.96	55.83	3.80	49.49
17	287	41	55.4	57.2	3.88	59.71	3.72	53.21
18	294	42	54.2	56.1	3.79	63.50	3.63	56.84
19	301	43	53.0	55.0	3.71	67.21	3.55	60.39
20	308	44	51.8	53.8	3.63	70.84	3.47	63.86
21	315	45	50.6	52.7	3.54	74.38	3.38	67.24
22	322	46	49.4	51.6	3.46	77.84	3.30	70.54
23	329	47	48.2	50.4	3.37	81.21	3.21	73.75
24	336	48	47.0	49.3	3.29	84.50	3.13	76.88
25	343	49	45.8	48.1	3.21	87.71	3.05	79.93
26	350	50	44.5	46.8	3.12	90.83	2.96	82.89
27	357	51	43.2	45.6	3.02	93.85	2.87	85.76
28	364	52	41.9	44.3	2.93	96.78	2.78	88.54
29	371	53	40.6	43.0	2.84	99.62	2.69	91.23
30	378	54	39.3	41.7	2.75	102.37	2.60	93.83
31	385	55	38.0	40.4	2.66	105.03	2.51	96.34
32	392	56	36.7	39.1	2.57	107.60	2.43	98.77
33	399	57	35.4	37.8	2.48	110.08	2.34	101.11
34	406	58	34.1	36.5	2.39	112.47	2.25	103.36
35	413	59	32.8	35.2	2.30	114.77	2.16	105.52
36	420	60	31.5	33.9	2.21	116.98	2.07	107.59
37	427	61	30.2	32.5	2.11	119.09	1.98	109.57
38	434	62	28.9	31.2	2.02	121.11	1.89	111.46
39	441	63	27.6	29.9	1.93	123.04	1.80	113.26
40	448	64	26.3	28.5	1.84	124.88	1.71	114.97
41	455	65	25.0	27.2	1.75	126.63	1.62	116.59

4. melléklet: Apai vonal (4-es vonal) heti keltethetőség és naposcsibe előállítás

**ROSS 308 GRANDPARENT STOCK: Performance Objectives**

**Male Line (Line 4) Weekly Hatchability and Chick Production**

Week Of Production	Age (days)	Age (weeks)	% Hatch All Eggs*	% Cum. Hatchability	Chicks/ Week Hen Housed	Cum. Chicks Hen Housed
1	175	25				
2	182	26				
3	189	27	71.1	71.1	0.72	0.72
4	196	28	73.7	73.0	1.31	2.03
5	203	29	75.2	74.1	1.83	3.86
6	210	30	76.3	75.0	2.46	6.32
7	217	31	77.5	75.8	3.12	9.44
8	224	32	78.4	76.5	3.36	12.80
9	231	33	79.3	77.0	3.44	16.24
10	238	34	79.7	77.5	3.44	19.68
11	245	35	80.5	77.9	3.41	23.09
12	252	36	80.8	78.3	3.35	26.44
13	259	37	81.0	78.6	3.28	29.72
14	266	38	81.2	78.8	3.22	32.94
15	273	39	81.2	79.0	3.16	36.10
16	280	40	81.2	79.2	3.09	39.19
17	287	41	81.0	79.3	3.01	42.20
18	294	42	80.7	79.4	2.93	45.13
19	301	43	80.5	79.5	2.86	47.99
20	308	44	80.0	79.5	2.78	50.77
21	315	45	79.5	79.5	2.69	53.46
22	322	46	78.9	79.5	2.60	56.06
23	329	47	78.0	79.4	2.50	58.56
24	336	48	77.5	79.3	2.43	60.99
25	343	49	76.5	79.2	2.33	63.32
26	350	50	75.8	79.1	2.24	65.56
27	357	51	75.0	79.0	2.15	67.71
28	364	52	74.0	78.8	2.06	69.77
29	371	53	72.8	78.6	1.96	71.73
30	378	54	72.0	78.4	1.87	73.60
31	385	55	70.8	78.2	1.78	75.38
32	392	56	69.7	78.0	1.69	77.07
33	399	57	68.5	77.8	1.60	78.67
34	406	58	67.5	77.6	1.52	80.19
35	413	59	66.5	77.4	1.44	81.63
36	420	60	65.3	77.1	1.35	82.98
37	427	61	64.0	76.9	1.27	84.25
38	434	62	62.8	76.7	1.19	85.44
39	441	63	61.8	76.4	1.11	86.55
40	448	64	60.8	76.2	1.04	87.59
41	455	65	60.0	76.0	0.97	88.56