

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav technologie potravin**

---



**Vliv doby skladování na vybrané fyzikální vlastnosti vajec**  
Disertační práce

*Vedoucí práce:*  
doc. Ing. Šárka Nedomová, Ph.D.

*Vypracovala:*  
Ing. Jana Strnková

---

Brno 2015

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem práci **Vliv doby skladování na vybrané fyzikální vlastnosti vajec** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
podpis

Zpracovaná disertační práce byla finančně podpořena z prostředků specifického vysokoškolského výzkumu prostřednictvím projektů IGA AF Mendelovy univerzity v Brně č. IP 2/2013 a 17/2014.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Mé velké poděkování patří školitelce paní doc. Ing. Šárce Nedomové, Ph.D. a panu prof. Ing. Jaroslavu Bucharovi, DrSc. za odborné vedení, cenné rady, jejich ochotu, vstřícný přístup a podporu v průběhu celého mého doktorského studia. Práce by nemohla vzniknout bez velké pomoci pana Ing. Jana Trnky, CSc. z Ústavu termomechaniky Akademie věd České republiky a pana Ing. Vojtěcha Kumbára, Ph.D. z Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně. Poděkování patří také paní Jindřišce Jordánové nejen za všestrannou pomoc při měření, ale také za její podporu a pozitivní přístup. Dále děkuji kolegům z Ústavu technologie potravin Mendelovy univerzity v Brně, kteří mi pomáhali během mého studia. Rovněž děkuji mé rodině za zázemí, všestrannou pomoc a podporu, které mi poskytovala v průběhu celého studia.



## ABSTRAKT

STRNKOVÁ, J.: *Vliv doby skladování na vybrané fyzikální vlastnosti vajec*

Disertační práce se zabývá vlivem doby skladování slepičích, křepelčích a husích vajec na jejich vybrané fyzikální vlastnosti. Vejce byla skladována při teplotě 6 °C pro dobu 8 týdnů (slepičí a husí vejce) a 16 týdnů (křepelčí vejce). Byl popsán vliv doby skladování na vnitřní kvalitu vajec pomocí klasických veličin (Haughovy jednotky, index bílku, index žloutku apod.). V další etapě byly stanoveny reologické vlastnosti vaječných tekutin ve formě závislostí napětí – rychlost deformace a následně zdánlivá viskozita. Ukazuje se, že vaječné tekutiny vykazují výrazné neneutronovské chování, a to v celém období skladování a rovněž, že doba skladování vykazuje jednoznačný vliv na tokové vlastnosti žloutku. Výsledky byly interpretovány pomocí Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waele modelů. Původním je výsledek ukazující na vliv doby skladování na tahovou pevnost podskořápkových blan. Tato pevnost v průběhu skladování klesá a od 4. týdne skladování se příliš nemění. Bylo zjištěno, že materiálové vlastnosti skořápky se s dobou skladování nemění. V práci byla rovněž použita metoda nedestruktivního rázu, kdy odezva vaječné skořápky ve formě její výchylky je výrazně ovlivněna dobou skladování jak v časové, tak zejména ve frekvenční oblasti. Získané poznatky představují možnost nedestruktivního hodnocení čerstvosti vajec.

***Klíčová slova:*** *vejce, reologické vlastnosti, podskořápkové blány, pevnost, smykové napětí, rychlost deformace, nedestruktivní ráz*

## **ABSTRACT**

STRNKOVÁ, J.: *The effect of storage time on the selected physical properties of eggs*

The aim of the dissertation was to examine the effect of storage time on the selected physical properties of eggs obtained from hens (8 weeks), geese (8 weeks) and quails (16 weeks). Albumen height, Haugh unit, pH of egg's liquids, mass losses etc. have been found to be important parameters which were greatly influenced by storage time. In the next step the rheological behaviour of liquid egg products (egg yolk, egg white and whole liquid egg) was studied using a concentric cylinder viscometer. Rheological behaviour was pseudoplastic and flow curves fitted by the both of Herschel-Bulkley and Ostwald-de Waele model. All rheological parameters were significantly affected by the storage time. The mechanical behaviour of eggshell membranes under tensile loading has been also studied. It was found that the increase of the storage time led to the reduction of the tensile strength of the membranes obtained from all kind of tested eggs. At the same time impact experiments performed in the given thesis showed that the deformation behaviour of the eggshell was not affected by the storage duration. Experiments on non destructive impact revealed the significant changes of the response function to this impact loading. These changes were most significant namely in the frequency domain. Its use is promising technology of the egg freshness evaluation.

**Keywords:** *egg, rheological properties, eggshell membranes, strength, shear stress, strain rate, non-destructive impact*

## OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	11
2.1	Hodnocení kvality vajec pomocí instrumentálních metod.....	11
2.2	Stavba vejce a složení vaječných tekutin .....	16
2.2.1	Žloutek .....	16
2.2.2	Bílek.....	18
2.2.3	Skořápka, podskořápkové blány a kutikula .....	20
2.3	Kvalita vaječných tekutin v průběhu skladování .....	22
2.3.1	Kvalita bílku v průběhu skladování .....	22
2.3.2	Kvalita žloutku v průběhu skladování .....	27
2.4	Reologie vaječných tekutin .....	28
2.5	Podskořápkové blány .....	36
2.6	Odezva vajec na nedestruktivní ráz.....	38
3	CÍL PRÁCE .....	43
4	MATERIÁL A METODIKA.....	44
4.1	Materiál .....	44
4.1.1	Popis vzorků .....	44
4.1.1.1	Slepičí vejce.....	44
4.1.1.2	Křepelčí vejce .....	44
4.1.1.3	Husí vejce .....	44
4.2	Metodika .....	44
4.2.1	Základní charakteristiky sledovaných vajec .....	45
4.2.2	Veličiny popisující vnitřní kvalitu vajec.....	45
4.2.3	Hodnocení reologických vlastností.....	46
4.2.4	Stanovení deformační křivky podskořápkových blan vejce .....	49
4.2.5	Hodnocení odezvy vajec na rázové zatěžování .....	50
5	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	52
5.1	Vlastnosti a geometrie sledovaných vajec .....	52
5.1.1	Přehled základních sledovaných veličin .....	52
5.1.2	Základní sledované veličiny u slepičích vajec.....	54
5.1.3	Základní sledované veličiny u křepelčích vajec .....	60
5.1.4	Základní sledované veličiny u husích vajec .....	63

5.1.5	Tloušťka skořápek a podskořápkových blan .....	64
5.1.6	Průměrné hodnoty poloměru křivosti .....	67
5.2	Reologie vaječných tekutin .....	68
5.2.1	Základní vlastnosti vaječných tekutin.....	69
5.2.1.1	Vaječné tekutiny slepičích vajec .....	69
5.2.1.2	Vaječné tekutiny křepelčích vajec.....	72
5.2.1.3	Vaječné tekutiny husích vajec .....	76
5.2.1.4	Shrnutí výsledků o základních vlastnostech vaječných tekutin .....	78
5.3	Tokové vlastnosti vaječných tekutin.....	80
5.3.1	Tok vaječných tekutin slepičích vajec .....	81
5.3.1.1	Přehled časových závislostí viskozity žloutku slepičích vajec.....	87
5.3.1.2	Přehled časových závislostí viskozity bílku slepičích vajec .....	89
5.3.1.3	Přehled časových závislostí viskozity melanže slepičích vajec .....	89
5.3.2	Tok vaječných tekutin křepelčích vajec.....	90
5.3.3	Tok vaječných tekutin husích vajec.....	99
5.3.4	Shrnutí výsledků o tokových vlastnostech vaječných tekutin .....	105
5.4	Pevnost podskořápkových blan při tahovém zatížení .....	112
5.4.1	Podskořápkové blány slepičích vajec .....	114
5.4.2	Podskořápkové blány křepelčích vajec.....	120
5.4.3	Podskořápkové blány husích vajec .....	127
5.4.4	Shrnutí výsledků o pevnosti podskořápkových blan vajec.....	135
5.5	Nedestruktivní rázové zatěžování vajec.....	135
5.5.1	Nedestruktivní rázové zatěžování slepičích vajec .....	136
5.5.2	Nedestruktivní rázové zatěžování křepelčích vajec.....	141
5.5.3	Nedestruktivní rázové zatěžování husích vajec .....	145
5.5.4	Shrnutí výsledků o nedestruktivním rázovém zatěžování vajec.....	148
6	ZÁVĚR .....	149
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	153
8	SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ .....	167
9	PŘÍLOHY .....	171

# 1 ÚVOD

Vejsce představují jednu z nejčastěji využívaných surovin potravinářského průmyslu. Z tohoto důvodu se zvyšují nároky na kvalitu vajec a rovněž na objektivní metody jejího hodnocení. Je zřejmé, že při současné produkci, kdy je např. zapotřebí třídit vejce v množství až 180 000 ks za hodinu, nelze aplikovat pouze empirické metody založené na vizuálním pozorování.

Kvalita vajec je definována vnějšími a vnitřními znaky jakosti. Vnější znaky jakosti jsou charakterizovány hmotností, tvarem vajec a zejména vlastnostmi vaječné skořápky jako např. barvou, tloušťkou, porézností, pevností a neporušeností. Dále lze do této skupiny zahrnout znečištění skořápky a přítomnost kutikuly. Mimo barvu jde o faktory, které ovlivňují základní úlohu vaječné skořápky, a to její ochrannou funkci proti kontaminaci vnitřního obsahu vajec patogenními mikroorganismy.

Za standardní měřítko vnitřní kvality vajec je obecně považována kvalita bílku. V důsledku biochemických reakcí řízených jak vnějšími, tak vnitřními faktory jako jsou např. teplota, relativní vlhkost a přítomnost bakterií, tato kvalita klesá s dobou skladování. V průběhu skladování se mění hustota bílku charakterizovaného relativně vysokou viskozitou a bílek řídne. Kvalita bílku během skladování je nejčastěji hodnocena pomocí Haughových jednotek, které jsou odvozeny z výšky hustého bílku a z hmotnosti vejce pomocí empirického vztahu. I když tento způsob hodnocení vede k vcelku spolehlivým závěrům, ukazují se četné nevýhody této metody, zejména destruktivní charakter a vliv vnějších i vnitřních faktorů (např. plemene nebo věku nosnic).

Jak již bylo uvedeno výše, je pro hodnocení kvality vajec nezbytné vyvinout přístrojové metody, které nahradí tradiční postupy. Tyto metody, které lze rozdělit do tří hlavních skupin, a to na mechanické metody, spektroskopické metody a metody analýzy obrazu, se neustále vyvíjí, přičemž je využíváno rozvoje metod hodnocení fyzikálních vlastností vajec. Je zřejmé, že každá z metod umožňuje hodnocení jednoho či několika aspektů kvality vajec. Pro získání úplnějších informací je nezbytné používat více metod. Tuto problematiku sleduje předkládaná disertační práce, která je zaměřena na nalezení vztahu mezi empirickým hodnocením kvality vaječných tekutin a jejich reologickým (tokovým) chováním v průběhu skladování. Důvodem je stále rostoucí použití

vaječných tekutin v řadě odvětví potravinářského průmyslu, kdy zmíněné reologické vlastnosti hrají velmi důležitou roli. Nemenší pozornost je věnována možnosti nedestruktivního hodnocení těchto vlastností. Studie je provedena jak pro vejce slepičí, tak pro vejce křepelk a hus. Vzhledem k poměrně značnému množství údajů jsou některé rozsáhlejší soubory dat obsahem příloh.

## 2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

S ohledem na obecný záměr předkládané práce uvedený v závěru předcházející kapitoly jsou nejprve uvedeny poznatky o instrumentálních metodách pro hodnocení kvality vajec, dále o empirickém popisu vnitřní kvality vajec. Následují poznatky o reologii vaječných tekutin, protože jedním ze záměrů je stanovení relace mezi výše uvedenými parametry a tokovými vlastnostmi vaječných tekutin. Tento záměr navazuje na dřívější pokusy zaznamenané v Kemps *et al.* (2010), Alamprese *et al.* (2012), Cardinaels *et al.* (2013), které jsou však omezeny jen na reologické vlastnosti bílku a na jejich aplikaci pro hodnocení vnitřní kvality. Nemenší pozornost je věnována nedestruktivním metodám hodnocení vaječných tekutin, kdy je aplikována metoda hodnocení odezvy vajec na nedestruktivní ráz. Další část je věnována pevnosti podskořápkových blan, kdy jejich pevnost určuje i výslednou pevnost vaječné skořápky (Johansson *et al.*, 1996; Kemps *et al.*, 2006). Pro tyto základní oblasti byla vypracována literární rešerše a byly získány poznatky pro přesnější formulaci cílů práce.

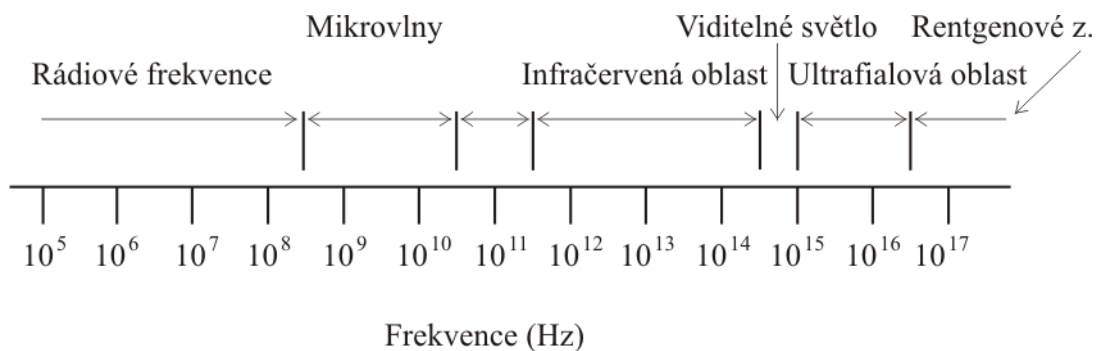
### 2.1 Hodnocení kvality vajec pomocí instrumentálních metod

Jak již bylo uvedeno v kapitole Úvod, vyvinutí přístrojových metod, které nahradí tradiční postupy, je pro hodnocení kvality vajec nezbytné. Tyto metody lze rozdělit do tří hlavních skupin:

**Mechanické metody** hodnocení pevnosti a celistvosti vaječné skořápky. Tato zařízení většinou využívají výsledků získaných při destruktivních zkouškách pevnosti vaječných skořápek jak přehledně uvádí Hamilton (1979, 1982). V současnosti jsou tyto metody založeny na sledování odezvy vaječné skořápky na nedestruktivní ráz. Popis těchto metod je možné nalézt v pracích Coucke *et al.* (1999), Cho *et al.* (2000), De Ketelaere (2004), Wang and Jiang (2005). Na základě sledování odezvy vajec, zpravidla ve formě časové závislosti výchylky nebo rychlosti povrchu skořápky, je možné detekovat existenci trhlin, stanovit dynamickou tuhost, kdy pevnost skořápky je jednoznačnou funkcí této veličiny a některé další údaje (Jindal a Sritham, 2003; Dunn *et al.*, 2005a). Bain *et al.* (2006) ukázal, že tato dynamická tuhost popisuje mechanickou odolnost vaječných skořápek během třídění, balení a přepravy. Aplikaci této metody pro třídění vajec na lince popisuje Sun *et al.* (2013). Messens *et al.* (2005) ukázal, že čím vyšší je dynamická tuhost, tím menší je pravděpodobnost penetrace patogenních

mikroorganismů skořápkou. V rámci našich výzkumů jsme se touto problematikou zabývali v Buchar *et al.* (2013), Nedomová *et al.* (2013, 2014), Strnková *et al.* (2013a, 2013b, 2013c, 2014a).

Použití **spektroskopických metod** je založeno na šíření elektromagnetických vln vejcem (Severa a Nedomová, 2011). Elektromagnetické záření se šíří ve formě vln a lze jej dělit a charakterizovat pomocí vlnové délky. Schéma elektromagnetického spektra je uvedeno na Obr. 1.



Obr. 1 Elektromagnetické spektrum (Severa a Nedomová, 2011)

Elektromagnetické vlny se pohybují rychlostí světla a jsou charakterizovány frekvencí  $f$  a vlnovou délkou  $\lambda$ . Při průchodu vlny médiem platí:

$$c = \lambda \cdot f,$$

kde  $c$  označuje rychlost světla ve vakuu ( $3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Při kontaktu záření o dané vlnové délce s povrchem materiálu může dojít k jeho odrazu, průchodu nebo absorpci.

Pro studium kvality vajec jsou používány jak vlny o délce odpovídající viditelnému světlu (300 – 750 nm), tak např. vlny odpovídající blízké infračervené oblasti (NIR, 700 – 2500 nm) (Liu a Qiao, 2002a, 2002b; Bamelis *et al.*, 2003; Berardinelli *et al.*, 2005; Giunchi *et al.*, 2008; Abdel-Nour *et al.*, 2011; Ragni *et al.*, 2010).

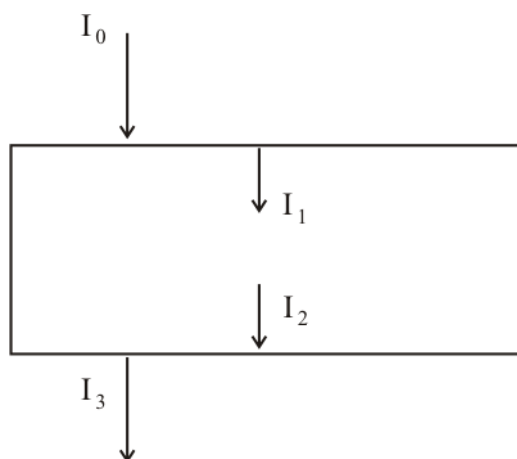
Po průchodu těchto vln vejcem dochází ke změně jejich spektra v důsledku chemických a fyzikálních interakcí, což umožňuje detekovat parametry ovlivňující kvalitu vajec. Míra interakce je popisována řadou veličin, zejména pak transmitancí (činitel prostupu světla)  $T$  a absorbancí  $A$ , které jsou definovány jako:

$$T = I_3/I_0,$$

$$A = \log (I_1/I_2),$$

kde význam jednotlivých intenzit  $I_0 - I_3$  je patrný ze schématu na Obr. 2, které je podrobněji popsáno v Severa a Nedomová (2011).





Obr. 2 Transmise elektromagnetického záření vrstvou zkoumaného materiálu (potraviný) (Severa a Nedomová, 2011)

Dané metody jsou často kombinovány s výše uvedenými metodami nedestruktivního zatěžování.

Další významná skupina zahrnuje **metody analýzy obrazu**. Dané metody jsou používány ve třech oblastech. V první řadě jde o sledování trhlin vaječných skořápek, kdy první práci uveřejnili Elster a Goodrum (1991). Analýza obrazu je pak dále používána pro zjišťování krevních skvrn (Patel *et al.*, 1996) a také pro stanovení rozsahu znečištění skořápky (Ribeiro *et al.*, 2000). Aplikaci této metody pro vejce různých druhů drůbeže uvádí Alaçahan a Günlü (2012) a její použití pro třídění vajec popisuje práce Omid *et al.* (2013).

Mimo tyto základní metody existují další metody založené např. na dielektrických vlastnostech vajec (Ragni *et al.*, 2007a). Dielektrické vlastnosti jsou obecně velmi často používány pro hodnocení vlastností biologických materiálů, jak popisují některé přehledové práce (Nelson, 1973; Venkatesh a Raghavan, 2004; Tang, 2005). Dielektrické vlastnosti jsou obecně charakterizovány permitivitou  $\varepsilon$ , která obecně závisí, mimo vlastností materiálu, na frekvenci elektromagnetické vlny  $f$ . Permitivitu vyjadřujeme jako komplexní veličinu:

$$\varepsilon(f) = \varepsilon'(f) + i\varepsilon''(f),$$

kde je reálná část nazývána dielektrickou konstantou a imaginární část je tzv. dielektrická ztrátová konstanta. Tento parametr je dán jak vodivostí látky  $\sigma$ , tak orientační polarizací dielektrika (Guan *et al.*, 2004):

$$\varepsilon'' = \varepsilon_v'' + \varepsilon_o'',$$

kde platí (Metaxas a Meredith, 1983):

$$\varepsilon_v'' = \frac{\sigma}{2\pi f \varepsilon_0},$$

kde  $\varepsilon_0$  je permitivita vakua ( $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ ) a  $\sigma$  je vodivost.

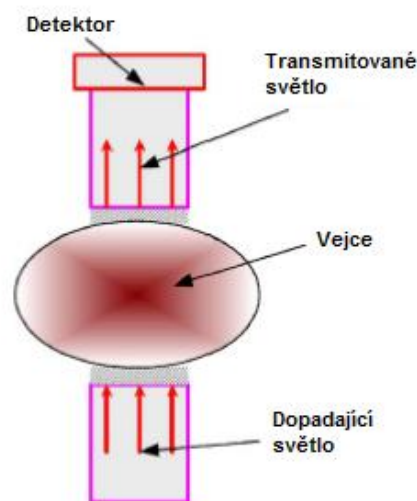
Použitím dielektrických vlastností k hodnocení kvality vajec se nejvíce zabýval Ragni *et al.* (2006, 2007a, 2007b, 2008). Příklad výsledů získaných pro vejce Plymutky žíhané je uveden níže. Výsledky byly získány 12 hod po snášce a pak sledovány 1 – 15 dnů během skladování při pokojové teplotě 22 °C. Výsledky korelací mezi sledovanými veličinami jsou obsahem Tab. 1.

Tab. 1 Souhrnné závislosti zjištěné při sledování dielektrických vlastností vajec během skladování (Ragni *et al.*, 2007a)

Závislá proměnná (x)	Nezávislá proměnná (y)	Funkce $y = y(x)$	Korelace $R^2$	Frekvence (MHz)
$\varepsilon'$ bílku	doba skladování (dny)	$y = 1,58\ln(x) + 86,475$	0,436	20
$\varepsilon'$ žloutku	doba skladování (dny)	$y = 19,73\ln(x) + 216,55$	0,555	20
$\varepsilon''$ žloutku	doba skladování (dny)	$y = 0,389x + 29,707$	0,457	400
Obsah vody žloutku (%)	$\varepsilon'$ žloutku	$y = 0,04663x^2 - 4,562x + 159,516$	0,965	20
Obsah vody žloutku (%)	$\varepsilon''$ žloutku	$y = 0,00127x^2 - 0,5709x + 111,98$	0,934	20
pH žloutku	vodivost ( $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ )	$y = 5,5482x + 4,6131$	0,621	1800

Podrobnější data uvádí Ragni *et al.*, (2007a). Je zřejmé, že v řadě případů není korelace příliš výrazná. Nicméně se ukazuje, že tento přístup vede k možnosti docela spolehlivého třídění vajec (Ragni *et al.*, 2008).

Další možnost představuje použití spektrálních metod. V práci Liu a Qiao (2002a, 2000b) je použito viditelného světla. Na Obr. 3 je uvedeno schéma metody.



Obr. 3 Schéma spektrální metody hodnocení kvality vajec (Liu *et al.*, 2007)

Ukazuje se, že transmitance světla  $T$  slepícím vejcem o vlnové délce 465 nm závisí na době trvání  $x$  vyjádřené ve dnech vztahem:

$$T(\%) = -0,0218 \ln(x) + 0,0836,$$

kdy koeficient korelace  $R^2$  má vysokou hodnotu 0,935. Další zpracování výsledků ukázalo, že Haughovy jednotky (HU) a index žloutku závisí na transmitanci  $T$  vztahy:

$$HU = -2,0255 \exp(3,835 - 45,87T) + 93,35,$$

$$\text{Index žloutku} = -0,0109 \exp(3,835 - 45,87T) + 0,5001.$$

Je patrné, že aplikace metody znázorněné na Obr. 3, umožňuje relativně snadné a nedestruktivní stanovení vlivu skladování na kvalitu vajec. Podobné výsledky je možné získat na základě hodnocení rychlosti šíření vln napětí (Aboonajmi *et al.*, 2014), kde je použito v podstatě stejné zařízení jako na Obr. 3 s tím, že místo viditelného světla je použit generátor vln napětí.

Mimo výše uvedené metody existují i další, založené např. na hodnocení akustických vlastností vajec (Karoui *et al.*, 2006). Velmi slibné výsledky poskytuje nukleární magnetická resonance (NMR) použitá např. v pracích Capozzi *et al.* (1999), Schwagele *et al.* (2001). Tato metoda je občas používána v kombinaci se spektroskopickými metodami (Kemps *et al.*, 2007). Pro hodnocení čerstvosti vajec byla rovněž použita metoda elektronického nosu (Dutta *et al.*, 2003). Úspěšným se ukázal i postup založený na kombinaci akustických vlastností a spektroskopických metod (Bamelis *et al.*, 2008).

Uvedené metody se neustále rozvíjí, přičemž je využíváno rozvoje metod hodnocení fyzikálních vlastností vajec. Jednotlivé metody umožňují hodnocení jednoho či více aspektů kvality vajec, kdy pro získání kompletnějších informací je důležité používat více metod.

## 2.2 Stavba vejce a složení vaječných tekutin

Vejce se skládá ze tří základních částí – žloutku, bílku a skořápky zahrnující podskořápkové blány a kutikulu. Toto obecně platí pro vejce drůbeže, nicméně v rámci jednotlivých druhů drůbeže (slepice, křepelky, husy, kachny, perličky, apod.) se vejce liší např. ve velikosti, barvě skořápky, tloušťce a pevnosti skořápky a podskořápkových blan nebo v chemickém složení vaječných tekutin. Tab. 2 uvádí přehled procentuálního zastoupení žloutku, bílku a skořápky vejce a hmotnost vejce pro vybrané druhy drůbeže. Průměrné chemické složení vaječných tekutin ve vejci pro různé druhy drůbeže je uvedeno v Tab. 3.

Tab. 2 Procentuálního zastoupení žloutku, bílku a skořápky vejce a hmotnost vejce pro vybrané druhy drůbeže (Nys *et al.*, 2011; Simeonovová *et al.*, 2013)

	<b>Slepice</b>	<b>Křepelka</b>	<b>Husa</b>	<b>Kachna</b>	<b>Krůta</b>
Hmotnost vejce (g)	50,1 – 68,5	6 – 16	120 – 180	60 – 90	80 – 95
Bílek (%)	59,6	62,0	52,5	52,6	55,9
Žloutek (%)	30,1	30,1	35,1	35,4	32,3
Skořápka (%)	10,3	7,9	12,4	12,0	11,8

Tab. 3 Chemické složení vaječných tekutin pro vejce různých druhů drůbeže (Nys *et al.*, 2011; Simeonovová *et al.*, 2013)

<b>Složky (%)</b>	<b>Slepice</b>	<b>Křepelka</b>	<b>Husa</b>	<b>Kachna</b>	<b>Krůta</b>
Voda	73,6	74,0	70,6	69,7	73,7
Proteiny	12,8	13,0	14,0	13,7	13,1
Lipidy	11,8	11,0	13,0	14,4	11,7
Minerální látky	0,8	1,1	1,2	1,0	0,8

### 2.2.1 Žloutek

Žloutek se nachází ve středu vejce a tvoří asi třetinu jeho hmotnosti. Jeho průměr činí asi 40 mm, tvar je kulovitý, mírně zploštělý, je obklopen žloutkovou (vitelinní) membránou, která je charakterizována její pevností a pružností. Žloutek má řadu funkcí, především je nositel zárodečného terčíku, představuje zásobárnu lipidů, proteinů a dalších živin pro vývoj embrya. Žloutek se skládá především ze dvou frakcí, a to

plazmy a granulí. Tyto dvě frakce mají rozdílné složení, strukturu a funkci. Plazma obsahuje velké množství tuků strukturovaných jako lipoproteiny s nízkou hustotou, zatímco granule jsou složeny převážně z bílkovin. Ve žloutku se pravidelně střídají centrické vrstvy světlého žloutku (frakce granule) a tmavého žloutku (frakce plazma), kdy světlý žloutek tvoří střed žloutku (latebru) a poslední vrstvu pod žloutkovou membránou. Latebra je zřetelně tekutější než ostatní žloutek a zůstává tekutá i po varu nebo zmrazení. Světlý žloutek tvoří 3 až 6 % z celkové hmotnosti žloutku a má ve žloutku vazebnou funkci. Vzniká v době klidu, kdy nosnice nepřijímají krmivo. Obsah vody je vyšší než u tmavého žloutku (asi 86 %). Sušina činí 13 až 14 % a je tvořena zejména proteiny. Lipidy představují pouze 3,5 % sušiny. Tmavý žloutek je tvořen v době, kdy nosnice přijímá krmivo. Obsahuje 54,6 % sušiny, kde jsou hlavní složkou lipidy (asi 35 %) a proteiny (asi 16 %). Obsahuje většinu lipofilních karotenoidních barviv. Tmavý žloutek plní funkci zásobní (Steinhauserová *et al.*, 2003; Simeonovová *et al.*, 2013; Anton, 2013).

Z chemického hlediska je žloutek nejsložitější částí vejce. Kromě hlavních složek sušiny obsahuje poměrně značné množství vitamínů, barviv, nízkomolekulárních dusíkatých látek a dalších minoritních složek. Tab. 4 uvádí přehled průměrného složení žloutku vajec pro různé druhy drůbeže.

Tab. 4 Průměrné složení žloutku vajec různých druhů drůbeže  
(Nys *et al.*, 2011; Simeonovová *et al.*, 2013)

Složky (%)	Slepice	Křepelka	Husa	Kachna	Krůta
Voda	48,7	48,8	44,7	44,7	47,7
Proteiny	16,6	16,4	17,3	15,8	17,2
Lipidy	32,6	30,0	35,8	36,8	32,2
Minerální látky	1,72	1,58	1,39	1,7	1,77

Pouze část proteinů se nachází ve žloutku v čisté formě jako např. livetiny. Většina proteinů žloutku tvoří komplexy s lipidy a sacharidy, jsou to např. glykoprotein fosfovitin, nebo lipoproteiny vitelenin a viteliny. Z celkového množství lipidů ve žloutku připadá přibližně dvě třetiny na acylglyceroly a jedna třetina na fosfolipidy, steroly a cerebrosidy. Pro vaječný žloutek je typický vysoký obsah nenasycených mastných kyselin, z nichž představují 8 – 20 % polynenasycené mastné kyseliny. Z mononenasycených kyselin je nejvíce zastoupena kyselina olejová (C18:1), z polynenasycených mastných kyselin se jedná o kyselinu linolovou (C18:2). Nasycené mastné kyseliny jsou pak zastoupeny ve žloutku v množství 30 %, nejvyšší zastoupení,

a to více jako 20 %, představuje kyselina palmitová (C16:0) a dále kyselina stearová (C18:0) 5,5 – 7,5 %. Procentuální zastoupení mastných kyselin žloutku vajec vybraných druhů drůbeže je uvedeno v Tab. 5. Profil mastných kyselin ve žloutku je ovlivňován mnoha faktory jako např. věkem nosnice, plemenem, genetickými vlivy, skladbou krmiva, způsobem chovu, apod. (Barteczko *et al.*, 2005; Nys *et al.*, 2011; Simeonovová *et al.*, 2013).

Tab. 5 Zastoupení mastných kyselin žloutku vajec vybraných druhů drůbeže (%)  
(Barteczko *et al.*, 2005; Nys *et al.*, 2011; Simeonovová *et al.*, 2013)

<b>Mastná kyselina</b>	<b>Slepice</b>	<b>Křepelka</b>	<b>Husa</b>
Kyselina myristová (C14:0)	0,4	0,6	0,6
Kyselina palmitová (C16:0)	23,4	29,4	30,8
Kyselina palmitoolejová (C16:1)	3,4	3,9	5,37
Kyselina stearová (C18:0)	10,2	9,8	8,5
Kyselina olejová (C18:1)	44,5	38,3	44,0
Kyselina linolová (C18:2)	12,3	12,9	7,2
Kyselina linoleová (C18:3)	0,6	0,3	0,7

Cholesterol se ve žloutku nachází převážně ve volné formě, přibližně 15 % je esterifikováno mastnými kyselinami. Obsah cholesterolu se liší u různých druhů drůbeže, ale i u téhož druhu mezi plemeny a liniemi. Nejvíce cholesterolu ve vejci se nachází u vodní drůbeže (kachny), naopak nízký obsah cholesterolu je uváděn u plemene Araukana (970 mg·100 g<sup>-1</sup> žloutku). U slepičích vajec se obsah cholesterolu pohybuje v rozmezí 946 – 1800 mg·100 g<sup>-1</sup> žloutku, u křepelčích vajec průměrně 1685 mg·100 g<sup>-1</sup> žloutku. Obsah sacharidů ve žloutku je velmi nízký (cca 1 %), kdy je většina sacharidů vázaná na bílkoviny. Vaječný žloutek obsahuje jak vitamíny rozpustné v tucích, tak vitamíny rozpustné ve vodě s výjimkou vitamínu C. Z minerálních látek je ve vaječném žloutku nejvíce zastoupen fosfor, železo, dále pak mangan, selen, kobalt, nikl, chrom, měď, baryum a jod (Nys *et al.*, 2011; Simeonovová *et al.*, 2013).

### 2.2.2 Bílek

Bílek ve vejci zaujímá prostor mezi žloutkem a vnitřní podskořápkovou blánou a představuje asi 60 % hmotnosti vejce. Bílek plní funkci zásobárny vody pro zárodek a vzhledem k antibakteriálnímu působení některých proteinů představuje rovněž ochrannou bariéru při průniku mikroorganismů přes skořápku do žloutku. Pro bílek je charakteristická jeho nejednotná struktura, protože se v něm střídají vrstvy hustého

bílku, který má strukturu gelu, s vrstvami řídkého bílku se strukturou solu. Rozlišují se 4 vrstvy bílků, a to chalázový neboli vnitřní hustý bílek, vnitřní řídký bílek, vnější hustý bílek a vnější řídký bílek. Tyto rozdílné struktury se liší tekutostí, pohyblivostí, viskozitou a bodem mrznutí. U čerstvých vajec je viskozita hustého bílku mnohem vyšší než řídkého bílku, protože má vysoký obsah ovomucinu. Zastoupení jednotlivých vrstev bílku ovlivňuje řada faktorů, např. dědičná schopnost tvořit hustý bílek, teplota prostředí, stáří nosnice nebo individualita nosnice. Čím jsou nosnice starší, tím menší je podíl hustého bílku. Ve velkochovech, kde je regulována teplota a vlhkost, jsou rozdíly menší než při chovu nosnic tradičním způsobem. Obsah a stav hustého bílku má význam při posuzování jakosti vajec (Song *et al.*, 2000; Steinhauserová *et al.*, 2003; Simeonovová *et al.*, 2013).

První vrstva bílku, která se nazývá vnitřní hustý bílek nebo také chalázový bílek, je spojena s vnější vrstvou žloutkové membrány. Vnitřní hustý bílek vytváří vak, v němž je uložen žloutek. Rovněž je spojen pružnými vláknitými provazci (chalázami), tvořenými při rotaci vejce ve vejcovodu s podskořápkovou blanou na obou koncích vejce. Funkcí vnitřního hustého bílku je udržování žloutku ve středové části vejce a vyrovnávání vlivů otřesů při nešetrné manipulaci. V průběhu stárnutí vejce se mění jeho struktura, kdy klesá jeho pevnost a pružnost a dochází k vychýlení žloutku ze středu, často až ke skořápce. Vnitřní hustý bílek tvoří asi 3 % z celkového bílku. Vnitřní řídký bílek představuje přibližně 17 % z celkové hmotnosti bílku, strukturou je to sol, což je koloidní roztok bílkovin. Jeho množství závisí na řadě faktorů jako např. na plemenné příslušnosti nosnice, věku či teplotě vejce při skladování. Při dlouhodobějším skladování podíl vnitřního řídkého bílku roste. Vnější hustý bílek zaujímá 57 % z celkové hmotnosti bílku. Má gelovitou strukturu, kterou vytváří mřížka z mucinových vláken, v níž je vázán roztok proteinů ve vodě. Vnější řídký bílek představuje asi 23 % objemu bílku. Strukturou je to sol, který je tvořený roztokem globulárních proteinů ve vodě. Neobsahuje žádná vlákna, v porovnání s vnitřním řídkým bílkem obsahuje více vody (Toussant a Latshaw, 1999; Song *et al.*, 2000; Steinhauserová *et al.*, 2003; Simeonovová *et al.*, 2013).

Nejvíce zastoupenou složkou bílku vejce je voda. Její obsah v bílku kolísá, s poklesem obsahu vody dochází ke zvyšování obsahu sušiny bílku, a to především bílkovin a minerálních látek. Vyšší sušina je ve vejcích nosnic na počátku snášky a klesá s věkem nosnice. Tab. 6 poskytuje přehled průměrného složení bílku vajec pro

různé druhy drůbeže. Bílek je směsí asi 40 různých typů bílkovin strukturálně patřící mezi fibrilární a globulární bílkoviny. K nejvýznamnějším bílkovinám bílku vejce patří ovoalbumin, ovotransferin, ovomukoid, ovomucin, lysozym, avidin, aj. (Steinhauserová *et al.*, 2003; Simeonovová *et al.*, 2013).

Sacharidy se nachází v bílku ve velmi malém množství, kdy je většina sacharidů ve vázané formě v glykoproteinech. V bílku jsou přítomny jenom vitamíny rozpustné ve vodě (skupina B) s výjimkou kyseliny askorbové. Jejich obsah se odvíjí v závislosti na krmivu, plemeni, ročním období a bývá nižší než ve žloutku. Obsah minerálních látek v bílku kolísá mezi 0,6 – 1,0 %. Bílek obsahuje více sodíku, draslíku a síry, méně vápníku a podstatně méně fosforu a železa v porovnání se žloutkem (Toussant a Latshaw, 1999; Song *et al.*, 2000; Steinhauserová *et al.*, 2003; Simeonovová *et al.*, 2013).

Tab. 6 Průměrné složení bílku vajec různých druhů drůbeže  
(Song *et al.*, 2000; Simeonovová *et al.*, 2013)

Složky (%)	Slepice	Křepelka	Husa	Kachna	Krůta
Voda	87,9	87,82	86,7	86,8	86,5
Proteiny	10,6	10,39	11,3	11,3	11,5
Lipidy	0,03	0,09	0,04	0,08	0,03
Minerální látky	0,6	1,0	0,8	0,8	0,7

### 2.2.3 Skořápka, podskořápkové blány a kutikula

Chemické složení skořápky vejce je u vajec různých druhů drůbeže přibližně shodné. Skořápka je tvořena anorganickými látkami (95 %), a to především uhličitánem vápenatým, dále organickou složkou (4 %), kterou tvoří bílkovinná vlákna kolagenové povahy, tzv. matrix. Obsah vody činí pouze 1 – 2 %. Proteiny vaječného matrixu představují důležitou součást přirozené obranyschopnosti vejce, a to z důvodu jejich zapojení do procesu kalcifikace vaječné skořápky ovlivňující mechanické vlastnosti skořápky, a také proto, že některé bílkoviny vaječného matrixu mají strukturu podobnou antibakteriálním složkám. K proteinům matrixu vaječné skořápky patří například ovalbumin, lysozym, ovotransferin, osteopontin, ovocleidin-17, ovocleidin-16, clusterin, ovocalyxin-32 (Hejlová, 2001; Huopalahti *et al.*, 2007).

Skořápka vejce je tvořena z množství extracelulárních matrixových vrstev, které postupně vznikají při průchodu vejce vejcovodem. Rozlišuje se pět různých vrstev, a to vnitřní a vnější podskořápková blána, mamilární vrstva, palisádová vrstva, vertikální



krystalová vrstva a kutikula. Tvořící se vejce s vaječným bílkem kolem žloutku vstoupí do krčku dělohy, kde dochází ke vzniku podskořápkových membrán. V oblasti krčku jsou umístěny mamilární sloupce a je zahájen proces mineralizace skořápky. V děloze pokračuje mineralizace za vzniku kompaktní skořápky. Proces kalcifikace skořápky lze rozdělit do tří fází. V první počáteční fázi dochází na povrchu vnější skořápkové membrány k ukládání prvních krystalů na jádra. Druhá růstová fáze je charakteristická rychlou mineralizací skořápky během tvorby kompaktní skořápky (palisádové vrstvy). Ve třetí konečné fázi dochází k ukončení kalcifikace skořápky během vzniku kutikuly. Komplexní mikroarchitektura skořápky vejce je výsledkem interakce krystalů uhličitanu vápenatého s molekulami organického matrixu (Nys *et al.*, 1991; Solomon, 1997; Gautron *et al.*, 1997; Nys *et al.*, 1999).

Podskořápkové blány tvoří nejvnitřnější vrstvu skořápky. Jsou složeny převážně z organických látek (80 %) a zbytek tvoří voda a stopy minerálních látek. Jsou tvořeny sítí vláken složených převážně z proteinů (80 – 85 %), z nichž 10 % připadá na kolagen (typu I, V a X). 70 – 75 % představují jiné proteiny a glykoproteiny obsahující v příčných vazbách lyzinové deriváty. Celý proces tvorby podskořápkových blan trvá přibližně 1 h. Vnitřní podskořápková blána, o tloušťce asi 15 – 26  $\mu\text{m}$ , je v přímém kontaktu s bílkem. Vnější blána, nacházející se mezi vnitřní membránou a kalcifikovanou částí skořápky, je přibližně 50 – 70  $\mu\text{m}$  silná. Obě blány se sestávají ze dvou až tří vrstev více méně neorganizovaných bílkovinných fibrózních vláken, vytvářející nepravidelnou síť, která je udržována v celistvosti bílkovinným pojivovým materiálem. V membránách jsou zachovány velmi jemné póry. Membrány jsou propustné pro vlhkost a plyny jako je kyslík a oxid uhličitý, ale mohou zabránit průniku mikroorganismů dále do vejce. Pevnost blan je závislá na jejich složení – vnější podskořápková blána je pevnější než vnitřní. Blány vyrovnávají svou pevností a pružností křehkost skořápky. Vnitřní skořápková membrána je v kontaktu s vnějším řídkým bílkem a sleduje změny jeho objemu. Vnější membrána pevně přiléhá ke skořápce. Ihned po snesení vejce dochází k jeho ochlazení z teploty těla nosnice (cca 40 °C) na teplotu prostředí. V důsledku smrštění vaječného obsahu tak dojde k oddělení obou podskořápkových blan od skořápky na tupém konci vejce za vzniku vzduchové komůrky. Velikost vzduchové komůrky (*cella aerea*) je závislá na propustnosti skořápky, teplotě a vlhkosti (Solomon, 1997; Kříž, 1997; Bell a Weaver, 2001; Li-Chan *et al.*, 2008; Simeonovová *et al.*, 2013; Baláž, 2014).

Povrch skořápky je pokryt asi 0,01 mm tlustou vrstvičkou mucinové hlenovité hmoty, vylučovanou slizničními žlázami v pochvě, která se nazývá kutikula. Tento poslední hlenovitý obal vejce usnadňuje jeho snášení. U čerstvě sneseného vejce je kutikula vlhká a slizká, po snesení vejce zasychá. Složky kutikuly (glykoproteiny, polysacharidy, lipidy) tvoří zrnkovité útvary o průměru asi 1  $\mu\text{m}$ . Ukládají se nejdříve kolem vláken matrixu a v místech, kde ústí póry. Současně dochází k vylučování barevných pigmentů, které souvisí s barvou skořápky. Kvalita kutikuly vejce je důležitým faktorem z důvodu ochrany před průnikem mikroorganismů a nečistot z vnějšího prostředí do vejce, kdy důležitou roli hraje lysozym, který má baktericidní účinky (Kříž, 1997; Nys *et al.*, 2011; Simeonovová *et al.*, 2013).

### **2.3 Kvalita vaječných tekutin v průběhu skladování**

Kvalitu vajec ovlivňuje mnoho faktorů jako např. genotyp, věk a zdravotní stav nosnice, výživa či způsob chovu. Neméně významným faktorem je také manipulace s vejci po snášce a jejich následné skladování, protože v průběhu skladování dochází ve vejci k řadě změn, které ovlivňují jak jakost, tak i technologické vlastnosti vajec (Gardiánová a Tůmová, 2002). Za velmi důležitý kvalitativní znak vajec je považována čerstvost. V České republice a v jiných zemích EU je jako kritérium čerstvosti používána výška vzduchové komůrky, která se zvětšuje v důsledku úniku vody a  $\text{CO}_2$  skořápkou. Pro stanovení výšky komůrky je používána metoda prosvětlování viditelným světlem. Naproti tomu např. v USA je normativně zavedeno hodnocení kvality vajec na základě Haughových jednotek (HU). Vejce, která mají HU vyšší než 72, se řadí do jakostní třídy A extra, vejce s HU 60 – 72 spadají do třídy jakosti A, vejce jakostní třídy B mají HU nižší než 60. Pokles k hodnotám okolo 40 ukazuje na vejce velmi nízké kvality, které již nejsou vhodná ke konzumaci (Stadelman a Cotterill, 1995; Míková a Davídek, 2000; Míková, 2002; Adamiec *et al.*, 2002; Nařízení Komise (ES) č. 2295/2003).

#### **2.3.1 Kvalita bílku v průběhu skladování**

Standardním měřítkem vnitřní kvality vajec je kvalita bílku, která se posuzuje podle vlastností hustého bílku, např. výškou bílku, indexem bílku nebo Haughovými jednotkami. Kvalita hustého bílku je ovlivněna genetickými faktory nosnice, intenzitou snášky, stářím nosnice, kdy vlivem vyššího věku nosnic klesá výška hustého bílku. Čím více hustého bílku vejce obsahuje, tím vyšší je jeho technologická hodnota. Výška

hustého bílku se po snesení vejce trvale snižuje, což je ovlivněno teplotou, relativní vlhkostí vzduchu a dobou skladování. Většina změn v kvalitě vajec, tzn. změna HU, výšky hustého bílku, pH bílku, indexu žloutku, měrné hmotnosti, velikosti vzduchové komůrky, je přisuzována ztrátě vody odpařováním prostřednictvím pórů skořápky a úniku CO<sub>2</sub> z bílku. V průběhu skladování dochází ke změnám struktury hustého bílku, klesá jeho pevnost a pružnost. Síťovitá struktura, která je tvořena vlákny ovomucinu, se rozpadá a uvolňuje se koloidně vázaná voda, což se projevuje řidnutím bílku (Bell a Weaver, 2001; Coutts a Wilson, 2007; Nedomová a Simeonovová, 2010; Jin *et al.*, 2011).

Změny bílku (jeho množství a stav) v průběhu skladování lze charakterizovat pomocí měření výšky hustého bílku a tzv. indexu bílku. Index bílku je dán poměrem výšky hustého bílku k jeho průměrné šířce dle vzorce (Simeonovová *et al.*, 2013):

$$I_b = \frac{V}{\bar{S}} \cdot 100 \quad (\%),$$

kde  $V$  je výška hustého bílku (mm) a  $\bar{S}$  je průměrná šířka bílku vyjádřená jako:  $((\text{maximální délka} + \text{minimální délka})/2)$  (mm).

Jak již bylo uvedeno výše, s postupným stárnutím vajec se index bílku snižuje kvůli řidnutí hustého bílku, protože se vrstva hustého bílku ztenčuje a dochází k jeho rozlévání do strany. Průměrné hodnoty indexu bílku se pohybují v rozpětí od 55 do 85 %. Nedomová a Simeonovová (2010) uvádí výšku hustého bílku u čerstvých slepičích vajec 10,6 mm a po 58 dnech skladování 7,07 mm při skladovací teplotě 4 °C. Silversides a Budgell (2004) uvádí u čerstvých vajec výšku hustého bílku 8,54 mm, dále výšku 4,96 mm po 5 dnech skladování a výšku 4,10 mm po 10 dnech skladování. Dle Monira *et al.* (2003) dochází ke snižování výšky bílku v průběhu skladování, u vajec rodajlendky červené uvádí výšku bílku 7,62 mm (1. den skladování), 3,72 mm (7. den skladování), 1,41 mm (14. den skladování), 1,64 mm (15. den skladování). Další údaje o kvalitě bílku uvádí ve svých pracích např. Silversides a Scott (2001), Jones a Musgrove (2005), Keener *et al.* (2006), Yildiz *et al.* (2006), De Menezes (2012).

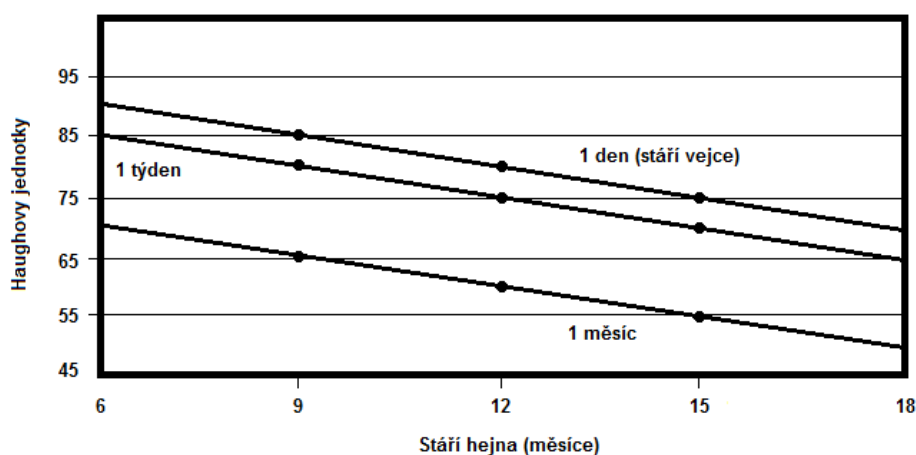
Nejvíce používanou metodou pro stanovení kvality bílku jsou Haughovy jednotky (HU), které se stanoví empiricky z hmotnosti vejce a výšky hustého bílku a jsou definovány vztahem (Simeonovová *et al.*, 2013):

$$HU = 100 \cdot \log(H - 1,7W^{0,37} + 7,57),$$

kde  $H$  je výška bílku (mm) a  $W$  je hmotnost vejce (g).

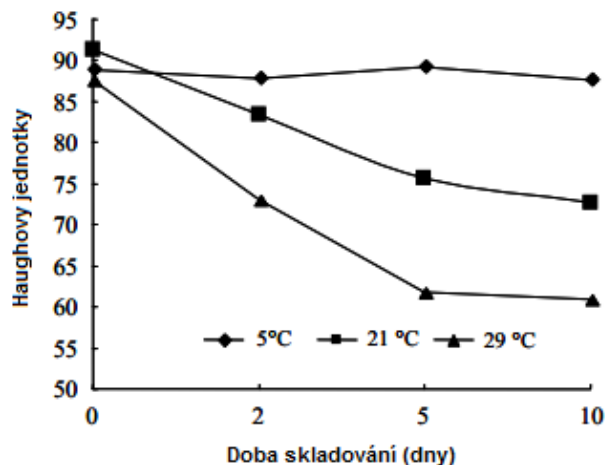
Samli *et al.* (2005) se ve své práci zabýval vlivem teploty a doby skladování a jejich interakcí na kvalitu slepičích vajec, kde byl zjištěn pokles HU z hodnoty 91,37 na 80,11, a to za dva dny při skladovací teplotě 5 °C. Při stejné skladovací teplotě poklesly po pěti dnech HU na hodnotu 76,20, po desetidenním skladování byly HU 76,27. Při skladovací teplotě 21 °C byl vývoj ve stejných dnech skladování jako při teplotě 5 °C následující: 72,82 HU (čerstvé vejce), 60,09 HU (5 dnů skladování), 53,74 HU (10 dnů skladování). Při skladovací teplotě 29 °C se HU měnily následovně: 64,84 HU (čerstvé vejce), 55,68 HU (5 dnů skladování), 40,57 HU (10 dnů skladování).

Silversides a Scott (2001) uvádí, že měření kvality na základě výšky bílku čerstvých vajec je ovlivněno jak vlivem plemene, tak i věku nosnic. Nicméně, pH bílku není ovlivněno věkem ani plemenem nosnic a může být použito k určení čerstvosti vajec bez výše uvedeného zkreslení. Vliv věku nosnic a stáří vajec na Haughovy jednotky je znázorněn na Obr. 4.



Obr. 4 Vliv věku nosnic a stáří vajec na Haughovy jednotky (Bell a Weaver, 2001)

Jin *et al.* (2011) se ve své práci rovněž zabýval vlivem teploty a doby skladování na kvalitu vajec, kdy uvádí, že s výjimkou teploty skladování 5 °C došlo k významnému snížení HU v závislosti na době skladování a teplotě. Při 21°C se HU snížily z 91,3 na 72,63, při teplotě 29 °C došlo ke snížení HU z hodnoty 87,62 na 60,93, a to v průběhu 10 dnů skladování. Zatímco při teplotě 5 °C nebylo zjištěno statisticky průkazné snížení HU. Vliv teploty skladování a doby skladování na HU dle práce Jin *et al.* (2011) je znázorněn na Obr. 5.



Obr. 5 Vliv teploty a doby skladování na Haughovy jednotky (Jin *et al.*, 2011)

Nedomová a Simeonovová (2010) ve své práci sledovaly slepičí vejce po dobu 8 týdnů, při teplotách 4 °C a 8 °C. Vliv teploty a délky skladování měly na změnu HU výrazný vliv, kdy vysoce významný rozdíl byl zjištěn v počátcích skladování, kdy se HU rapidně snižovaly. Průkazné rozdíly mezi HU byly zjištěny i v průběhu celého skladování. Při teplotě 4 °C se HU v průběhu 8 týdnů snížily z hodnoty 100,90 na 79. Vývoj HU při skladovací teplotě 8 °C byl rovněž sestupný, a to z hodnoty 100,07 na 58,36. Při skladovací teplotě 8 °C docházelo v průběhu celé doby skladování, tedy 8 týdnů (výsledky zjištěny pro 1., 2., 3., 4. a 8. týden) k vyššímu snižování HU, než tomu bylo u skladovací teploty 4 °C. Snižování hodnot HU v průběhu skladování, konkrétně po dobu 4 týdnů uvádí i Wong (1996) nebo Caner (2005). Dále Hidalgo *et al.* (2006) uvádí negativní závislost mezi stářím vajec a HU ( $r = -0,429$ ). Další údaje o kvalitě vajec uvádí práce Jones a Musgrove (2005), Usturoi (2011), Gavril (2012), Khan *et al.* (2014). Ve všech těchto pracích se jednalo o slepičí vejce. Mimo to byl sledován vliv skladování vajec dalších druhů drůbeže.

Genchev (2012) ve své práci hodnotil kvalitu křepelčích vajec od počátku jejich snášky až do 7. měsíce snášky. Genchev (2012) uvádí, že se výška hustého bílku u japonských křepelk pohybovala v rozmezí 2 až 8,4 mm, index bílku byl v rozmezí 3,7 až 18,1 %. Hodnoty Haughových jednotek byly v rozmezí 72,3 až 106,51. Kdy nejvyšší hodnoty těchto ukazatelů zaznamenal na začátku snášky vajec. Zita *et al.* (2012) se zabýval vlivem věku nosnic křepelk, resp. dobou jejich snášky, kdy se index bílku snižoval z 12,47 % (1. týden snášky nosnice) na 9,84 % (40. týden snášky nosnice), rovněž docházelo ke snižování HU v průběhu snáškového cyklu.

Đukić-Stojčić *et al.* (2012) hodnotil vejce křepelky japonské ze tří farem, kde byly křepelky chovány v klecích. Vejce byla hodnocena den po jejich snášce. Nejhorší výsledek z hlediska hodnoty HU byl 83,65. Na dalších dvou farmách se výsledky statisticky průkazně lišily (hodnoty HU 86,10 a 87,93) od první farmy. Výšku hustého bílku 3,80 mm a index bílku 9,37 % uvádí u křepelčích vajec Kul a Seker (2004). Hrnčár *et al.* (2014) uvádí u nosnic ve 20. týdnu snášku u čerstvě snesených vajec index bílku 10,12 % a hodnotu HU 87,28. Song *et al.* (2000) uvádí výšku hustého bílku u čerstvě snesených křepelčích vajec 3,50 mm a hodnotu HU 84,19. Snižování hodnot HU u křepelčích vajec v průběhu 21 dnů skladování uvádí ve své práci Dudusola (2009).

Poměrně dost prací je věnováno změnám kvality husích vajec (Tilki a Inal, 2004). Mazanowski a Adamski (2006) uvádí u husích vajec HU v rozmezí 59,2 až 54,0. Dle Fašiangové (2013) u husích vajec skladovaných při teplotě 6 °C, měřených v týdenních intervalech, byla konzistence hustého bílku v průběhu skladování stále více viskóznější a tužší. U čerstvých husích vajec byla průměrná výška hustého bílku 5,45 mm. V 1. týdnu skladování byly hodnoty hustého bílku 6,22 mm, ve 2. týdnu 6,24 mm a ve 3. týdnu 7,19 mm. Hodnoty HU v průběhu skladování byly následující, a to 47,11 HU (čerstvá vejce), 48,95 HU (1. týden skladování), 46,51 HU (2. týden skladování), 64,73 HU (3. týden skladování). Fašiangová (2013) uvádí jako možné vysvětlení odlišného vývoje HU v průběhu skladování u husích vajec v porovnání s vejci slepičími a křepelčími, rozdílné chemické složení proteinů bílků vajec vodní a hrabavé drůbeže. Poměrně menší počet prací je věnován sledování změn kvality vajec jiných druhů ptáků jako např. vejcem orebice horské (Tilki a Saatci, 2004).

Silversides a Villeneuve (1994) uvádí, že pH je užitečným prostředkem pro popis změny kvality bílku v průběhu skladování. Čerstvě snesené vejce má pH bílku 7,6, v průběhu stárnutí se z vejce uvolňuje CO<sub>2</sub> rozpuštěný v bílku a hodnota pH se může zvýšit až na 9,7. pH bílku závisí na rovnováze mezi rozpuštěným CO<sub>2</sub>, hydrogenuhličitanovými a uhličitanovými ionty a proteiny. Čím více je prostředí nasyceno CO<sub>2</sub>, tím více jsou potlačeny změny pH bílku. Rychlost změn pH ve vejci také závisí na podmínkách skladování, zejména na teplotě (Simeonovová *et al.*, 2013).

Silversides a Scott (2001) sledovali pH bílku v průběhu skladování, kdy čerstvá vejce nosnic *ISA Brown* měla pH 7,43, dále 8,44 (1. den skladování), 8,99 (3. den skladování), 9,21 (5. den skladování), 9,32 (10. den skladování). Zvyšující se pH bílku

v průběhu skladování potvrdili ve svých pracích také např. Silversides a Budgell (2004) a Caner (2005). Jin *et al.* (2011) ve své práci uvádí, že jak doba skladování, tak i různá skladovací teplota výrazně ovlivňují pH bílku. Mazanowski a Adamski (2006) uvádí u husích vajec pH bílku 8,75 (1. a 2. týden skladování), 8,38 (3. skladování), 8,64 (4. týden skladování). Dle Aktan (2011) docházelo v průběhu skladování (při teplotě 18 °C) ke zvyšování pH křepelčích vajec, a to z 8,74 (čerstvá vejce), na 9,78 (7. den skladování).

### 2.3.2 Kvalita žloutku v průběhu skladování

Dalším faktorem určujícím vnitřní kvalitu vejce je kvalita žloutku. Čerstvě po snesení má žloutek po vyklopení na rovnou plochu poměrně vysoký a vypouklý tvar a je obklopen malou vrstvou vnitřního hustého bílku. Tvar žloutku závisí na elastičnosti a pevnosti žloutkové membrány obklopující žloutek. Vlivem stárnutí vejce absorbuje žloutek vodu z vaječného bílku, čímž dojde ke zvětšení žloutku a oslabení žloutkové membrány. Žloutek starého vejce je proto nižší a zaujímá větší plochu. Tyto změny vyjadřujeme indexem žloutku, který se vypočítá dle vzorce (Simeonovová *et al.*, 2013):

$$I_z = \frac{V}{\bar{S}} \cdot 100 \quad (\%),$$

kde  $V$  je výška žloutku (mm) a  $\bar{S}$  je šířka žloutku (mm).

Během stárnutí vejce hodnoty indexu žloutku klesají. U čerstvě snesených vajec se pohybují mezi 30 a 50 %. Čím je tedy index vyšší, tím je vejce kvalitnější (Nys *et al.*, 2011).

Dle Akyurek a Okur (2009) se u nosnic slepic ve 22. týdnu snášky u vajec skladovaných při teplotě 4 °C snížil index žloutku ze 47,43 % (3. den skladování) na 46,29 % (10. den skladování). U nosnic v 50. týdnu snášky se při stejné skladovací teplotě index žloutku snížil z 45,84 % (3. den skladování) na 44,55 % (10. den skladování). Mazanowski a Adamski (2006) uvádí u husích vajec index žloutku v rozmezí 29,5 až 33,7 %. Zita *et al.* (2013) sledoval změnu indexu žloutku v průběhu snáškového cyklu křepelk (od 9. týdne do 49. týdne), hodnoty indexu žloutku se pohybovaly od 49,11 do 44,15 %. Kul a Seker (2004) uvádí index žloutku křepelčích vajec v rozmezí 26,36 až 46,25 %. Dle Hrnčár *et al.* (2014) činí index žloutku u čerstvě snesených vajec 43,22 %. Touto problematikou se ve svých pracích rovněž zabývali Samli *et al.* (2005), Gjorgovska *et al.* (2011) nebo El-Tarabany *et al.* (2015).

pH žloutku se v průběhu skladování nemění tolik jako pH bílku. Dosahuje hodnot 6,3 – 6,8. Nárůst souvisí se zvyšováním koncentrace amoniaku uvolňovaného z bílkovin v průběhu stárnutí. V průběhu skladování rovněž dochází k růstu osmotického tlaku mezi žloutkem a bílkem, což vede k pohybu minerálů a vody napříč žloutkovou membránou, a tím i k narušení její soudržnosti (Kirunda a McKee, 2000; Simeonovová *et al.*, 2013). pH žloutku slepičích vajec se zvyšuje s dobou skladování a také se zvyšující se teplotou. Při teplotě 5 °C došlo během 5 dnů ke zvýšení pH u čerstvých vajec z 5,82 na 6,02 (Jin *et al.*, 2011). Akyurek a Okur (2009) uvádí pH žloutku 6,16, a to po 14 dnech skladování při teplotě 4 °C. Mazanowski a Adamski (2006) uvádí ve své práci pH žloutku husích vajec v rozmezí 5,37 až 5,92. V Tab. 7 jsou uvedeny hodnoty indexu žloutku, výšky bílku a Haughovy jednotky pro vejce různých druhů drůbeže. Hodnoty byly stanoveny při teplotě 21 °C.

Tab. 7 Hodnoty veličin popisujících vnitřní kvalitu vajec  
(Amer, 1972; Song *et al.*, 2000)

Druh vajec	Index žloutku (%)	Výška bílku (mm)	Haughovy jednotky
Slepičí ( <i>Rhode Island Red</i> )	44	5,80	72,82
Bažantí	46	4,46	79,64
Orevice chukar ( <i>Alectoris chukar</i> )	48	4,04	80,27
Křepelčí	46	3,50	84,19
Perličky kropenaté	53	5,74	80,87

## 2.4 Reologie vaječných tekutin

Reologie označuje obor, který se zabývá přetvořením látek vlivem vnějších sil. Tento obor, jehož počátky lze datovat do roku 1926, se zpravidla dělí na dva samostatné obory, a to proudění tekutin a deformace pevných látek. Jde o konvenční rozdělení, kdy neexistuje pevné rozhraní mezi těmito podobory. Proudění se vztahuje k případům, kdy k přetvoření dochází vlivem velmi malých, někdy téměř nulových sil. Jestliže doba potřebná ke změně struktury je označena jako  $t_r$ , tak schopnost látek změnit tvar vlivem vnějších sil lze charakterizovat pomocí tzv. Debořina čísla:

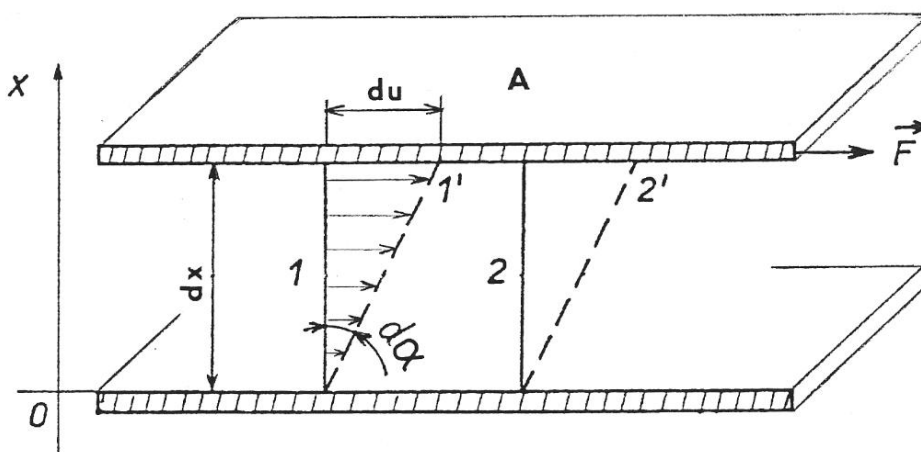
$$De = \frac{t_r}{t_p},$$

kde  $t_p$  je doba pozorování. Proudění se vztahuje k případům, kdy  $De \ll 1$  a deformace popisuje  $De \gg 1$  (Raab, 1999).



V případě vajec je třeba řešit četné případy proudění vaječných tekutin s ohledem na jejich častou aplikaci v potravinářské praxi. Např. bílek je často používán v pekárenském průmyslu vzhledem ke snadné šlehatelnosti s dobrou trvanlivostí pěny. Žloutek se hojně využívá např. při přípravě majonéz, různých dresinků, omáček apod. (Alvarez *et al.*, 2006). Směs žloutku a bílku vejce se nazývá melanz, která je významnou surovinou v řadě potravin (Stadelman a Cotterill, 1995). Při zpracování vaječných tekutin je nezbytné znát jejich reologické vlastnosti, které určují jejich pohyb – proudění v potrubích a jiných částí výrobního řetězce (Tellis-Romero *et al.*, 2006).

Popis proudění kapalin je charakterizován zejména jejich viskozitou. Jak uvádí Severa a Nedomová (2011) na základě pozorování řeky došel v minulosti Isaac Newton k poznání, že uvnitř kapaliny existuje tření, které přenáší pohyb od jedné vrstvy kapaliny k druhé. Mírou tohoto tření, které má za následek pozorované rozdíly rychlosti proudění vody v řece (malá rychlost u břehů a největší uprostřed), je pak viskozita. Kvantitativně se viskozita zavádí způsobem, který je znázorněn na Obr. 6.



Obr. 6 Unášení viskózní kapaliny mezi dvěma rovnoběžnými deskami  
(Severa a Nedomová, 2011)

Spodní deska je držena ve stálé poloze a horní deska se pohybuje rychlostí  $v_0$ . Je-li měřena síla  $F$ , která je potřebná pro udržení horní desky v pohybu, je zjištěno, že je úměrná ploše desky  $A$  a poměru  $v_0/d$ . Pro smykové napětí tak platí (Severa a Nedomová, 2011):

$$\frac{\Delta F}{\Delta A} = \eta \frac{\Delta v_x}{\Delta y} = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y},$$

kde se konstanta úměrnosti  $\eta$  nazývá dynamická viskozita. Poměr síly  $F$  a plochy desky  $A$  je označován pojmem smykové napětí, zpravidla symbolem  $\tau$  (Pa). Pro výraz:

$$\frac{\partial v_x}{\partial y},$$

je pak používán pojmem rychlost deformace  $\dot{\gamma}$  (Steffe, 1996).

Tekutiny, pro které platí lineární závislost mezi smykovým napětím a rychlostí deformace se nazývají newtonovské tekutiny. Pro tyto látky je materiálovou charakteristikou dynamická viskozita, která má rozměr  $[\eta] = \text{Pas} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . Mimo dynamickou viskozitu se používá kinematická viskozita  $\nu = \eta/\rho$  (Severa a Nedomová, 2011).

Znalost viskozity je velmi významná pro řešení celé řady úloh. V první řadě umožňuje popsat charakter proudění tekutin, a to pomocí tzv. Reynoldsova čísla –  $Re$ , což je bezrozměrné číslo definované vztahem:

$$Re = \frac{v\rho R}{\eta},$$

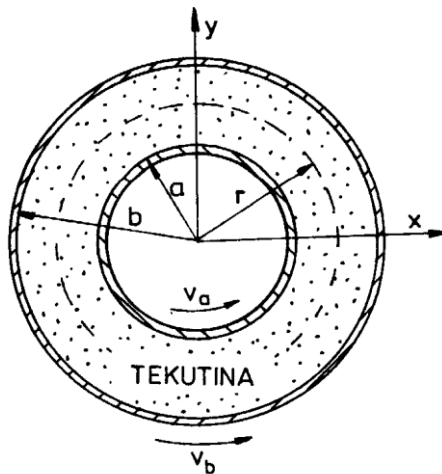
kde  $v$  je rychlost proudění,  $R$  je charakteristický rozměr potrubí nebo obtékaného tělesa a  $\rho$  je hustota tekutiny (Severa a Nedomová, 2011).

V zemědělství, potravinářství i v řadě jiných oborů, má pak velký význam znalost proudění tekutin v potrubích. Klasickým příkladem je proudění newtonovské kapaliny v potrubí kruhového průřezu, kdy pro objem  $V$  kapaliny, která proteče průřezem trubky za jednotku času, platí Hagenův-Poiseuillův zákon:

$$V = \frac{\pi R^4}{8\eta l} (p_1 - p_2),$$

kde  $l$  je délka potrubí,  $p_1 - p_2$  je přetlak na délce  $l$  a  $R$  je poloměr potrubí.

Daleko běžnější než dané newtonovské kapaliny jsou tzv. nenewtonovské kapaliny. Pro popis jejich proudění není možné použít jednu hodnotu viskozity, ale hodnoty smykového napětí v širokém intervalu rychlostí deformace. Tato závislost, tzn.  $\tau = \tau(\dot{\gamma})$ , se nazývá tokovou křivkou. Pro měření této křivky existuje mnoho zařízení, kdy relativně nejdostupnější je tzv. rotační reometr, který vychází ze zákonitostí tzv. Couettova proudění, což je proudění tekutiny mezi dvěma koncentrickými válci, které se vzájemně otáčejí stálou úhlovou rychlostí  $\omega$ , jak znázorňuje schéma na Obr. 7 (Severa a Nedomová, 2011).



Obr. 7 Příčný řez geometrií rotačního reometru (Severa a Nedomová, 2011)

Velikost úhlové rychlosti umožňuje určit rychlost deformace a moment síly potřebný pro udržení této úhlové rychlosti určuje velikost smykového napětí (Norton *et al.*, 2011). Pomocí tokové křivky se pak stanovuje tzv. zdánlivá viskozita:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Tato viskozita je obecně funkcí rychlosti deformace.

Na základě mnohých experimentů jsou získány různé typy tokových křivek, kdy pro proudění potravin mají význam zejména:

a) Mocninový zákon, resp. Ostwald-de Waele model:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n,$$

kde  $n$  je index toku a  $K$  koeficient konsistence. Pro zdánlivou viskozitu platí:

$$\mu_a = K\dot{\gamma}^{(n-1)}.$$

Pro  $n=1$  popisuje tento model chování newtonovské tekutiny. Mocninový model obecně popisuje chování celé řady tekutin včetně suspenzí. Je-li uvažováno proudění tekutiny, která se řídí daným zákonem v kruhovém potrubí o průměru  $R$ , je získán pro rozložení rychlostí podél průřezu (ve směru osy  $x$ ) vztah:

$$v(x) = \left( \frac{3n+1}{n+1} \right) v_m \left[ 1 - \left( \frac{x}{R} \right)^{1+\frac{1}{n}} \right],$$

kde

$$v_m = \left( \frac{nR}{3n+1} \right) \left[ \frac{p_1 - p_2}{L} \frac{R}{2K} \right]^{\frac{1}{n}}.$$

Pro objemový tok (objem kapaliny za jednu sekundu) pak platí:

$$V = \frac{n\dot{\gamma}(1-K)^{(2n+1)}/n}{2n+1} \pi R^3 \left[ \frac{2KL}{\Delta p R} \right]^{\frac{1}{n}}.$$

V těchto vztazích je  $L$  délka potrubí a  $\Delta p$  je rozdíl tlaků (Severa a Nedomová, 2011). I přestože daný model popisuje chování celé řady tekutin, v zásadě nepopisuje chování kečupů, jogurtů a jiných materiálů, kdy pro počátek pohybu je nutné vynaložit určitou práci na narušení struktury. Tato práce je charakterizována tzv. mezí kluzu  $\tau_o$  (Severa a Nedomová, 2011). Toto chování pak popisují další modely, které jsou podrobněji popsány např. v práci Norton *et al.* (2011):

b) Herschel-Bulkley

$$\tau = \tau_o + K\dot{\gamma}^n,$$

c) Casson

$$\tau^{1/2} = \tau_o^{1/2} + \dot{\gamma}^{1/2},$$

d) Mizrahi-Berk

$$\tau^{1/2} = \tau_o^{1/2} + K\dot{\gamma}^n,$$

e) Heinz-Casson

$$\tau^n = \tau_o^n + K\dot{\gamma}^n,$$

f) Vocadlo

$$\tau^n = \tau_o^n + K\dot{\gamma},$$

g) Zobecněný Herschel-Bulkley

$$\tau^n = \tau_o^n + K\dot{\gamma}^n,$$

h) Carreau

$$\eta = \eta_\infty + (\eta_o - \eta_\infty) \left[ 1 + (K\dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{n-1}{2}},$$

i) Power-Eyring

$$\tau = K_1\dot{\gamma} + \frac{1}{K_2} \sinh^{-1}(K_3\dot{\gamma}).$$

Pro potraviny je relativně nejvýznamnější model Herschel-Bulkley. K pohybu kapaliny, která je popsána tímto vztahem, dochází k proudění po dosažení meze kluzu.

Je-li napětí vyšší jak mez kluzu, tak při proudění kapaliny v potrubí existuje válec o poloměru  $r^*$ , který se pohybuje jako tuhé těleso. Pro poloměr tohoto tělesa platí (Mitsoulis, 2007; Divoux *et al.*, 2012):

$$r^* = \frac{2L\tau_o}{\Delta P},$$

kde  $l$  je délka potrubí a  $\Delta P$  je tlakový spád na dané délce. Pro rozdělení rychlosti proudění  $v$  podél poloměru potrubí  $r$  platí (Misoulis *et al.*, 1993):

$$v(r) = \frac{n}{n+1} \left( \frac{\Delta P}{2LK} \right)^{\frac{1}{n}} \left\{ (R-r^*)^{\frac{n+1}{n}} - (r-r^*)^{\frac{n+1}{n}} \right\}.$$

Objemový tok je dán vztahem:

$$V = \pi r^{*2} v^* + \frac{\pi n (R-r^*)^{\frac{n+1}{n}}}{n+1} \left( \frac{\Delta P}{2LK} \right)^{\frac{1}{n}} \left[ 1 - \frac{2n}{3n+1} \left( 1 - \frac{r^*}{R} \right)^2 - \frac{2nr^*}{(2n+1)R} \left( 1 - \frac{r^*}{R} \right) - \left( \frac{r^*}{R} \right)^2 \right],$$

kde  $v^*$  je rychlost tuhého válce, která je získána dosazením  $r=r^*$  do vztahu pro  $v(r)$ .

Pro vaječné tekutiny byly získány tokové křivky pro žloutek a bílek v celé řadě prací jako např. Kaufman *et al.* (1968), Scalzo *et al.* (1970), Tung *et al.* (1970, 1971), Hamid-Samini *et al.* (1984, 1985), Ibarz a Sintez (1989), Ibarz (1993), Punidadas a McKellar (1999) či Telis-Romero (2006). Na základě přehledu v práci Atilgan a Unluturk (2008) se ukazuje, že tok vaječných tekutin popisuje převážně mocninový zákon. Odpovídající parametry tohoto modelu jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8 Parametry tokových křivek (Atilgan a Unluturk, 2008)

Vaječná tekutina	Teplota (° C)	Index toku $n$ , koeficient konzistence $K$	Literární zdroj
Žloutek s obsahem soli 7 – 14 % (hmotnostních)	5 – 60	$n=2,986-0,0199C-0,048D$ ( $0,562 < n < 0,878$ ) $C = \text{obsah soli}, D = \text{sušina}$ $K=1,347 \times 10^{-19} \exp(3929-T+0,303C+0,6651D)$ , $T = \text{teplota ve } ^\circ\text{C}$	Ibarz, 1993
Žloutek	5 – 60	$0,80 < n < 0,89$ $0,14 < K < 1,91$	Scalzo <i>et al.</i> , 1970; Ternes a Werlein, 1987; Ibarz a Sintez, 1989
Bílek	45 – 65	$0,552 < n < 0,5635$ $0,06667 < K < 0,07292$	Punidadas a McKellar, 1999
Melanž	45 – 65	$0,6043 < n < 0,61009$ $0,05452 < K < 0,0601$	Cornford <i>et al.</i> , 1969; Hamid-Samimi, 1984

Znalost vlivu hydrostatického tlaku na reologické chování vaječných tekutin je velmi významná. V tomto směru poskytuje úplný popis práce Ahmed *et al.* (2003), kdy je reologické chování vaječných tekutin popsáno pomocí Herschel-Bulkleyova modelu. Výsledky uvádí Tab. 9.

Tab. 9 Vliv tlaku na reologické parametry vaječných tekutin pomocí Herschel-Bulkleyova modelu (Ahmed *et al.*, 2003)

Složky vejce	Tlak (MPa)	Mez kluzu (Pa)	Koeficient konzistence $K$ ( $\text{Pa s}^n$ )	Index toku ( $n$ )	Směrodatná chyba
Melanž (rychlost deformace $0 - 200 \text{ s}^{-1}$ )	0,101	0,171	0,023	0,959	17,07
	150	0,165	0,022	0,961	9,48
	200	0,309	0,019	1,079	13,61
	250	0,205	0,032	1,094	11,12
	300	0,832	0,055	0,962	8,63
Bílek (rychlost deformace $0 - 200 \text{ s}^{-1}$ )	350	0,506	0,049	0,903	7,56
	0,101	0,536	0,015	1,039	13,21
	150	0,086	0,001	0,977	2,99
	200	0,051	0,003	0,969	15,88
	250	0,027	0,002	1,023	11,77
Žloutek (rychlost deformace $0 - 500 \text{ s}^{-1}$ )	300	0,741	0,016	0,851	19,19
	0,101	9,529	7,363	0,514	6,85
	150	10,29	8,13	0,516	5,92
	200	11,26	8,52	0,509	7,07
	300	21,14	9,38	0,450	6,56
350	28,61	10,09	0,488	7,23	

Tyto tokové křivky byly získány pro slepičí vejce. Údaje pro křepelčí a husí vejce nejsou známy.

Měřená viskozita může (při zachování konstantní rychlosti deformace) růst nebo klesat s časem. V takovém případě se jedná o časově závislou kapalinu (Groda, 2002). Časově nezávislé odchylky od ideálního newtonovského chování jsou příčinou nelinearity mezi smykovým napětím a rychlostí deformace. Vykazuje-li materiál při zvyšující se rychlosti deformace pokles viskozity, nazývá se pseudoplastickým nebo se takové chování označuje termínem „shear thinnig“. Dochází-li při zvyšování rychlosti deformace k nárůstu viskozity, hovoří se o dilatantní kapalině nebo efektu „shear thickening“ (Daubert a Foegeding, 2010).

Časově závislé tokové chování může být sledováno při zkouškách, kdy je úroveň smykového zatížení a teplota při měření konstantní. V případě, kdy viskozita klesá s časem, jedná se o tixotropii (Barnes, 1997). Tento jev byl experimentálně nalezen pro

řadu látek (Kirsanov a Remizov, 1999; Citerne *et al.*, 2001; Dolz *et al.*, 2007). Potraviný jako jsou suspenze, emulze a pěny, patří mezi časově závislé kapaliny a ve většině případů vykazují tixotropii. Tixotropní chování vaječných kapalin bylo uvedeno v Atilgan a Unluturk (2008) a následně v Severa *et al.* (2010). Pro popis tixotropního chování existuje řada modelů. V případě kapalin, jejichž proudění je popsáno pomocí Herschel-Bulkleyova modelu, je nejčastěji používáno Houskova modelu (Houska, 1981), kdy při proudění kapaliny v potrubí pro smykové napětí  $\tau$  platí vztah:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{y,\infty} + \lambda(\tau_{y,0} - \tau_{y,\infty}) + (\eta_\infty + \lambda\eta_0)\dot{\gamma}^n & \tau &\geq \tau_{y,\infty} + \lambda(\tau_{y,0} - \tau_{y,\infty}) \\ \dot{\gamma} &= 0 & \tau &\leq \tau_{y,\infty} + \lambda(\tau_{y,0} - \tau_{y,\infty}), \end{aligned}$$

kde  $\dot{\gamma} = \left| \frac{dw(r)}{dr} \right|$  je rychlost deformace,  $w$  je rychlost proudění,  $r$  je radiální vzdálenost od osy potrubí a  $\lambda$  je tzv. strukturní parametr. Jeho hodnota se mění od 1 (kapalina má svoji výchozí strukturu) do 0, kdy je struktura kapaliny úplně rozrušena. Těmito dvěma hodnotám odpovídají meze kluzu  $\tau_{y,0}$  a  $\tau_{y,\infty}$  obdobně se označují odpovídající viskozity  $\eta_0$  a  $\eta_\infty$ . Pro strukturní parametr platí kinetická rovnice (De Souza Mendes, 2009):

$$\frac{d\lambda}{dt} = a(1 - \lambda) - b\dot{\gamma}^m \lambda,$$

kde  $a$ ,  $b$  jsou dva časové parametry. Parametr  $a$  charakterizuje čas potřebný pro vytvoření struktury v důsledku Brownova pohybu a parametr  $b$  odpovídá času potřebnému pro rozrušení struktury. Obecně je  $a \gg b$ . Parametr  $m$  popisuje citlivost struktury na porušení v důsledku smyku. V rovnovážném stavu, kdy  $\frac{d\lambda}{dt} = 0$ , platí:

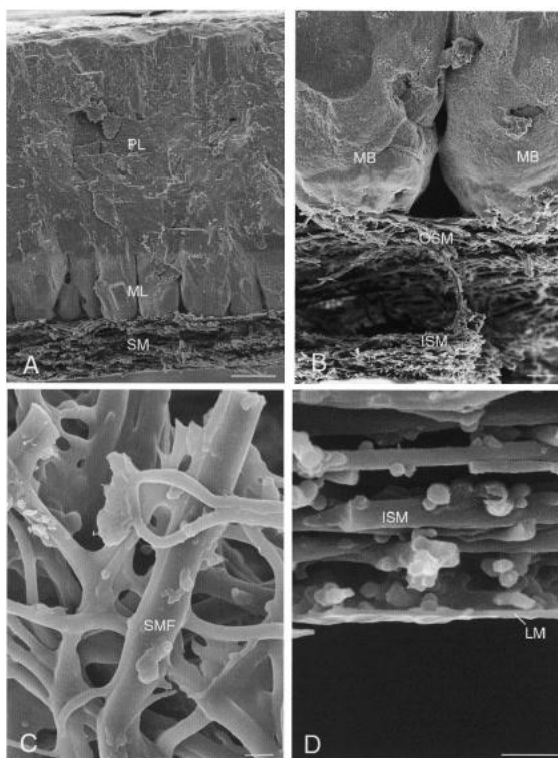
$$\lambda_s = \frac{a}{a + b\dot{\gamma}^m}.$$

Daný model umožňuje analytické a částečně analytické řešení proudění tixotropní tekutiny v potrubí. Odpovídající vztahy jsou obsahem práce Ahmadpour a Sadeghy (2013). V obecnějších případech je nutné použít numerických metod, a to zejména metodu konečných prvků (Wang a Hirai, 2012). V současnosti existuje celá řada komerčně dostupných programů uvedených např. v práci Norton a Sun (2006). Základním požadavkem je tak potřeba experimentálního stanovení tokových křivek.

## 2.5 Podskořápkové blány

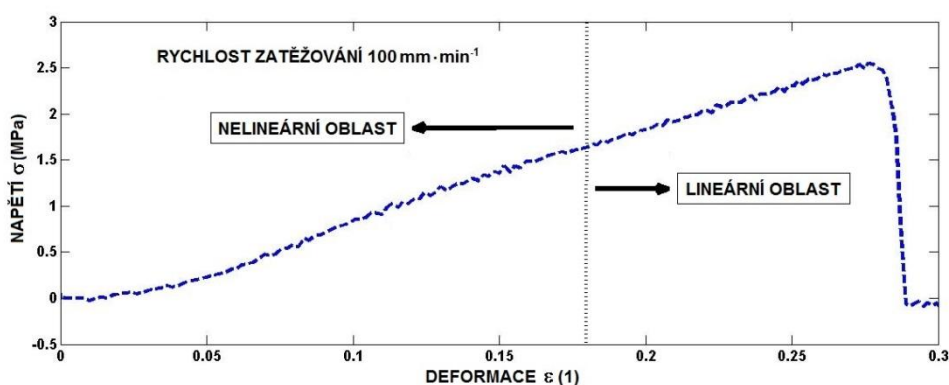
Vaječné blány mají za úkol chránit a obalovat celý vaječný obsah. Vznikají současně s tvorbou vnějšího řídkého bílku ve vejcovodu. Ve vejci se nachází dvě vaječné blány, a to vnitřní (bílková) a vnější (podskořápková) blána. Tloušťka vnitřní blány je přibližně 15 – 26  $\mu\text{m}$  a vnější 50 – 70  $\mu\text{m}$ . Obě blány k sobě v okamžiku snesení vejce těsně přiléhají. Po snesení dochází k ochlazení vejce z teploty těla nosnice (40 °C) na teplotu prostředí a obě vaječné blány se na tupém konci vejce oddělí v důsledku smrštění vaječného obsahu, a tím vznikne prostor, do kterého proniká vzduch. Tento prostor se nazývá vzduchová komůrka. Po snesení vejce je výška vzduchové komůrky asi 2 až 3 mm. Vaječná blána představuje v podstatě síť proteinových vláken, kdy jsou její vlastnosti určeny chováním jednotlivých vláken a jejich vzájemnou interakcí (Arias *et al.*, 1991). Pohled na strukturu skořápky a blan uvádí Obr. 8 pořízený pomocí rastrovací elektronové mikroskopie. Podrobnější údaje o struktuře podskořápkových blan je možné získat v pracích Tan *et al.* (1992), Nys *et al.* (2004), Fathi (2007), Baláž (2014). Bylo zjištěno, že vaječné blány výrazně ovlivňují pevnost skořápky (Johansson *et al.*, 1996; Kemps *et al.*, 2006; Ha *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008; Solomon, 2010). O významu pevnosti membrán pojednává ve své práci Jin *et al.* (2014). Experimentální výzkum deformačního chování blan popisuje např. Miller (2001). Výzkumem deformačního chování podskořápkových blan se pak zabývají práce Torres *et al.* (2010) nebo Strnková *et al.* (2014b). Ukazuje se, že závislost napětí – deformace má při tahovém zatěžování průběh uvedený na Obr. 9.





Obr. 8 Morfologie skořápky a vaječných blan (Hincke *et al.*, 2000)

(A) Příčný řez skořápky ukazuje blánu (SM), mamiliární vrstvu (ML) a palisádovou vrstvu (PL). (B) Rozhraní blána – mamiliární vrstva při větším zvětšení. Vlákná vnější blány jsou vloženy do špiček mamiliární vrstvy (MB). Vnitřní blána (ISM). (C) Prodloužení vlákna blány (SMF). (D) Vnitřní blána (ISM) ukazující na mezní blánu (LM), která obklopuje bílek, zde byla odstraněna během přípravy vzorku. Úsečky znázorňující měřítko: A – 50  $\mu\text{m}$ , B – 20  $\mu\text{m}$ , C, D – 2  $\mu\text{m}$ .



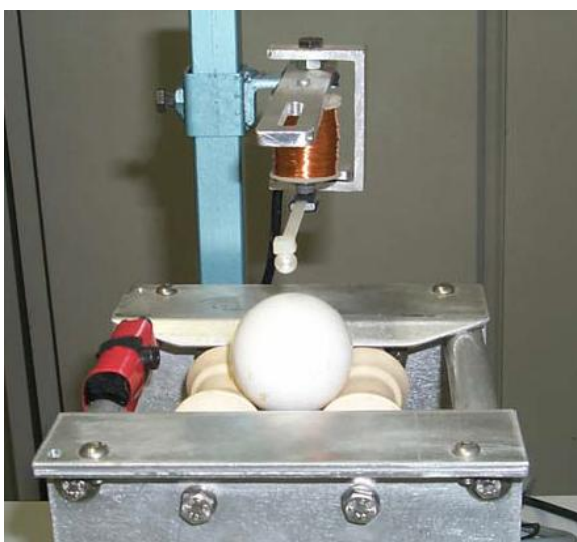
Obr. 9 Příklad závislosti napětí – deformace stanovený pro tahové zatěžování vzorku blány slepičího vejce

Na Obr. 9 existují dvě oblasti, nejprve nelineární a pak lineární. Maximum odpovídá mezi pevnosti blány a odpovídající deformace udává tažnost blány. Popis jednotlivých oblastí je detailně popsán v práci Torres *et al.* (2010). Výsledky získané v této práci pro

blány slepičích vajec ukazují, že pevnost blány je rostoucí funkcí rychlosti zatěžování a výrazně závisí i na prostředí, ve kterém se blána nachází. Dosud nebyly získány poznatky o vlivu podmínek skladování na hodnotu veličin, které popisují deformační chování vaječných blan.

## 2.6 Odezva vajec na nedestruktivní ráz

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1, jednou z metod hodnocení kvality vajec je stanovení jejich odezvy na nedestruktivní rázové zatěžování. Tento způsob zatěžování je velmi často používán k detekci trhlin vaječné skořápky. Zpravidla je používáno rázu kuličky, kdy jsou sledovány její odskoky od skořápky. Tímto způsobem je možné stanovit distribuce trhlin v různých bodech skořápky, případně potvrdit její neporušenost (Bliss, 1973; Moayeri, 1998). Zkušební zařízení je uvedeno na Obr. 10.



Obr. 10 Experimentální zařízení pro zatěžování vajec rázem kuličky  
(De Ketelaere *et al.*, 2004)

Další využití vibračních vlastností vajec pro hodnocení kvality vaječné skořápky je popsáno v Sinha *et al.* (1992), který pomocí vibračního chování vaječné skořápky sledoval možnost průniku bakterie *Salmonella enteritidis* do vaječných tekutin. Obdobné využití je uvedeno v práci Yang *et al.* (1995) a Carnarius *et al.* (1996). Při hodnocení odezvy mechanického systému na určité buzení jsou odpovídající funkce vyjadřovány jak v časové, tak ve frekvenční oblasti. Základem tohoto přístupu je

Fourierova transformace, kdy časové funkci, např.  $f(t)$  přiřazujeme její spektrální funkci  $F(\omega)$  pomocí vztahu uvedeném ve Stein a Shakarchi (2003):

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt,$$

kde  $\omega$  je úhlová frekvence. Funkci  $f$  pak můžeme vyjádřit pomocí:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega,$$

$$F(\omega) = \text{Re}(F) + i \text{Im}(F),$$

$$\text{amplitude} = \sqrt{\text{Re}(F)^2 + \text{Im}(F)^2},$$

$$\text{phase} = \arctan \left[ \frac{\text{Im}(F)}{\text{Re}(F)} \right].$$

Je zřejmé, že spektrální funkce je obecně komplexní a je tak charakterizována amplitudou a fází. V praxi se většinou nezaznamenává spojitý průběh funkce  $f(t)$ , např. závislost výchylky na čase, ale diskrétní hodnoty. Jedná se tak o diskrétní Fourierovu transformaci a pro její realizaci je používáno algoritmu, který je označován jako rychlá Fourierova transformace (FFT – Fast Fourier Transformation).

Tento systém je možné popsat pomocí tří různých typů modelů, z nichž každý je dán systémovými maticemi (Bilošová, 2009):

### 1. fyzikální model

- $[M]$  je matice hmotnosti,
- $[K]$  je matice tuhosti,
- $[B]$  nebo  $[H]$  je matice viskózního nebo hysterézního tlumení.

Matice mají rozměr  $N \times N$  ( $N$  = počet stupňů volnosti = počet pohybových rovnic).

### 2. modální model

- $[\lambda^2]$  je spektrální matice, diagonální, na diagonále jsou vlastní čísla,
- $[\Phi]$  je modální matice, sloupce tvoří vlastní vektory.

### 3. odezvoový model

- $[H(\omega)]$  je matice FRF (frekvenčních odezvoových funkcí), např. pohyblivostí,  $Y(\omega)$  nebo IRF (impulsních odezvoových funkcí), symetrická.

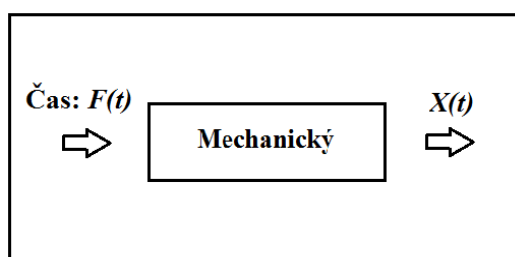
Při teoretické vibrační analýze systémů se postupuje od fyzikálního modelu k odezovému v následujících krocích:

1. sestavení pohybových rovnic  $\Rightarrow$  1. fyzikální model,
2. analýza volného kmitání  $\Rightarrow$  2. modální model,
3. analýza vynuceného kmitání při harmonickém buzení  $\Rightarrow$  3. odezový model.

Při experimentální vibrační analýze systémů se postupuje opačně v následujících krocích:

1. změření vhodné množiny frekvenčních odezvových funkcí  $\Rightarrow$  3. odezový model,
2. analýza naměřených dat  $\Rightarrow$  2. modální model,
3. další výpočty  $\Rightarrow$  1. fyzikální model.

Základem odezového modelu je odezвовá funkce (FRF – Frequency Response Function), která je definována jako podíl Fourierovy transformace výstupu (odezvy)  $X(\omega)$  a Fourierovy transformace vstupní síly  $F(\omega)$ , viz Obr. 11.



Obr. 11 Schéma definice odezвовé funkce  $H(\omega)$

Matematicky je pak dána vztahem:

$$H(\omega) = \frac{\text{výstup}}{\text{vstup}} = \frac{\text{pohyb}}{\text{síla}} = \frac{\text{odezva}}{\text{buzení}}.$$

Podle toho, je-li odezvou výchylka, rychlost nebo zrychlení, se rozlišují dva základní typy odezvy uvedené v Tab. 10.

Tab. 10 Základní typy odezvy (Bilošová, 2009)

Odezvový parametr $r$	Frekvenční odezvoivá funkce	
	Standardní $\frac{r}{F}$	Inverzní $\frac{F}{r}$
Výchylka	$\alpha(\omega)$ Receptance Admittance Dynamická podajnost Dynamická pružnost	Dynamická tuhost
Rychlost	$Y(\omega)$ Pohyblivost	Mechanický odpor
Zrychlení	$A(\omega)$ Inertance Akcelerance	Zdánlivá hmotnost

V této tabulce značí  $\alpha(\omega)$  odezovou matici (matice receptance), kde její prvek  $\alpha_{jk}(\omega)$  představuje harmonickou odezvu v místě  $x_j$  způsobenou osamělou harmonickou silou působící v místě  $x_k$ .

Přesná definice jednoho prvku matice frekvenčních odezvoivých funkcí (pro matici receptance  $[\alpha(\omega)]$ ) je dána vztahem:

$$\alpha_{jk}(\omega) = \sum_{r=1}^N \frac{\Phi_j^r \Phi_k^r}{\lambda_r^2 - \omega^2},$$

kde  $\lambda_r$  je vlastní číslo  $r$ -tého módu (vlastní frekvence + modální tlumení),  $\Phi_j^r$  je  $j$ -tý prvek  $r$ -tého vektoru vlastních tvarů  $\{\Phi\}$ , tj. relativní výchylka v  $j$ -tém bodě při kmitání na  $r$ -tém tvaru,  $N$  je počet módů (Bilošová, 2009).

Vedle tohoto postupu je používáno poněkud zjednodušeného přístupu, kdy je snímána např. výchylka, resp. výchylka povrchu, která je poté vyjádřena ve frekvenční oblasti. Frekvence, pro kterou dochází k maximu velikosti frekvenční odezvy, je definována jako dominantní (rezonanční) frekvence (Wang a Jiang, 2005). Bylo prokázáno, že velikost této dominantní frekvence nezávisí na tvaru razníku, na intenzitě rázu, ani na poloze zatížení na povrchu skořápky. Daná frekvence souvisí s hmotností vejce, s tloušťkou skořápky, se statickou tuhostí apod. Tato frekvence umožňuje charakterizovat celou řadu vlastností vaječných skořápek a některých procesů (Coucke *et al.*, 1997, 1999, 2003; De Ketelaere *et al.*, 2004; Dunn *et al.*, 2005a, 2005b; Mertens *et al.*, 2006, 2007a, 2007b; Bamelis *et al.*, 2008; He *et al.*, 2008).

Použití vibračních testů pro detekci trhlin ve skořápce se jeví jako velmi perspektivní. V tomto směru existuje mnoho prací (Cho a Kwon, 1996;

Cho *et al.*, 2000; De Ketelaere *et al.*, 2000a, 2000b, 2003; Jindal a Sritham, 2003; Wang a Jiang, 2005; Bain *et al.*, 2006; Icken *et al.*, 2006), které ukazují, že existence trhlin vede k výraznému, a tudíž snadno měřitelnému posunu rezonanční frekvence. Ukazuje se možnost využití této techniky k třídění vajec přímo na třídící lince. O použití tohoto postupu pro hodnocení vlivu doby skladování na kvalitu vajec pojednávají práce Tona *et al.* (2013) a Strnková *et al.* (2013c).

Zmíněné metody, tzn. hodnocení vibračních a akustických vlastností vajec, bylo dále použito mj. k hodnocení vývoje embryí (Coucke *et al.*, 1997; Kemps *et al.*, 2003; Bamelis *et al.*, 2008). Je zřejmé, že sledování vibračních vlastností vajec představuje jednu z perspektivních metod hodnocení jejich vlastností. Rozšíření této metody zatím do určité míry brání vysoké ceny měřících zařízení a dále náročné zpracování získávaných údajů.

### 3 CÍL PRÁCE

Práce je zaměřena na sledování kvality vajec v průběhu skladování pomocí vybraných fyzikálních vlastností. Na rozdíl od většiny stávajících prací byl sledován vliv relativně dlouhodobého skladování, kdy celá řada dosavadních prací předpokládá, že k výraznějším změnám ve fyzikálních vlastnostech nedochází. Byla zvolena vejce slepičí, křepelčí a husí. Důvodem této volby je jednak snaha o posouzení vlivu vajec různých druhů drůbeže na jejich chování během skladování a rovněž skutečnost, že převážná část dosud realizovaného výzkumu byla zaměřena na vejce různých plemen, linií a hybridů slepic, zatímco údaje pro křepelčí vejce jsou značně omezenější a pro husí vejce nejsou relevantní údaje známé. Pro dosažení daného záměru bylo navrženo několik dílčích cílů:

1. Charakteristika vnější kvality vajec pomocí jejich geometrických vlastností, tzn. rozměry a exaktním popisem jejich tvaru a rovněž tloušťkou skořápek a podskořápkových blan.
2. Hodnocení vnitřní kvality vajec během skladování pomocí běžných parametrů jakosti, tzn. pomocí Haughových jednotek, indexu bílku, indexu žloutku, úbytku hmotnosti apod.
3. Stanovení reologických vlastností vaječných tekutin sledovaných vajec (žloutku, bílku a melanže) v průběhu skladování. Součástí bylo i ověření možné tixotropie vaječných tekutin. Jak je uvedeno v literárním přehledu, nejsou tyto údaje příliš četné, a to navzdory jejich značnému významu v řadě odvětví potravinářského průmyslu.
4. Hodnocení deformačního chování podskořápkových blan v průběhu skladování. Pro blány křepelčích a husích vajec nebyly údaje dosud publikovány. Přitom jejich znalost by mohla umožnit jak predikci změn pevnosti vaječných skořápek v průběhu skladování, tak spolehlivou numerickou simulaci chování vajec při zatěžování, které odpovídá manipulaci, balení a transportu vajec.
5. Posouzení možnosti nedestruktivního sledování vnitřní kvality vajec pomocí odezvy vajec na nedestruktivní rázové zatěžování v průběhu skladování, s cílem ověřit možnosti stanovení parametrů, které tuto kvalitu popisují.

## **4 MATERIÁL A METODIKA**

### **4.1 Materiál**

Pro experimenty byla použita vejce slepičí, křepelčí a husí.

#### **4.1.1 Popis vzorků**

##### **4.1.1.1 Slepíčí vejce**

Vzorky slepičích vajec pocházely od nosnic *ISA Brown*, které byly v době odběru vzorků vajec v 63. týdnu snášky. Nosnice byly chovány v klecích a krmeny kompletní krmnou směsí. Vzorky vajec byly analyzovány v 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7. a 8. týdnu skladování. Celkem bylo odebráno 300 kusů slepičích vajec. Vejce byla skladována při nekolísavé teplotě 6 °C a relativní vlhkosti 70 – 75 %.

##### **4.1.1.2 Křepelčí vejce**

Vzorky křepelčích vajec pocházely od nosnic křepelky japonské (*Coturnix japonica*), které byly v době odběru vzorků vajec v 9. týdnu snášky. Nosnice byly chovány v klecích a krmeny kompletní krmnou směsí. Vzorky vajec byly analyzovány v 1., 2., 3., 4., 6., 8., 10., 12., 14. a 16. týdnu skladování. Celkem bylo odebráno 500 kusů křepelčích vajec. Vejce byla skladována při nekolísavé teplotě 6 °C a relativní vlhkosti 70 – 75 %.

##### **4.1.1.3 Husí vejce**

Vzorky husích vajec pocházely od nosnic Německé nosné husy (*Anser anser f. domesticus*), které byly v době odběru vzorků vajec v 11. týdnu snášky. Nosnice byly chovány ve volném výběhu a krmeny kompletní krmnou směsí. Vzorky vajec byly analyzovány v 1., 2., 3., 4., 6. a 8. týdnu skladování. Celkem bylo odebráno 85 kusů husích vajec. Vejce byla skladována při nekolísavé teplotě 6 °C a relativní vlhkosti 70 – 75 %.

### **4.2 Metodika**

Pro realizaci plánovaných cílů práce byly použity následující postupy a metody.



#### 4.2.1 Základní charakteristiky sledovaných vajec

Základní charakteristiky sledovaných vajec byly stanoveny následujícím postupem:

- Byly stanoveny tloušťky skořápek sledovaných vajec po jejich vymytí a vysušení. Tloušťka skořápky byla měřena pomocí digitálního třmenového mikrometru SCHUT, 0 – 25 mm (s přesností 0,001 mm), a to na ostrém konci, tupém konci a ve středu (na rovníku) vejce.
- Byly stanoveny hmotnosti vajec  $m$  vážením na laboratorních vahách KERN 572 (s přesností 0,01 g) a dále výška vejce  $L$  a šířka  $W$  pomocí posuvného měřidla SOMET 14016458 KS (s přesností 0,01 mm).
- Z digitální fotografie vajec, získané pomocí digitálního fotoaparátu Olympus SP-560UZ, byly stanoveny body obrysové křivky, které byly proloženy vhodnou matematickou funkcí, což umožnilo stanovit exaktní hodnotu objemu a povrchu vaječné skořápky, stejně jako poloměr křivosti obrysové křivky v jejich jednotlivých bodech. Hodnoceny byly poloměry křivosti v místě největší šířky vejce (na rovníku) a u tupého a ostrého konce. Digitální snímky byly vyhodnoceny pomocí software MATLAB 2009a, stejně jako uvedené geometrické veličiny.

#### 4.2.2 Veličiny popisující vnitřní kvalitu vajec

Pro stanovení veličin popisujících vnitřní kvalitu vajec byl zvolen následující postup:

- stanovení úbytku hmotnosti vajec v průběhu skladování pomocí vážení na laboratorních vahách KERN 572 (s přesností 0,01 g),
- stanovení výšky a šířky žloutku pomocí posuvného měřidla SOMET 14016458 KS (s přesností 0,01 mm),
- stanovení hmotnosti žloutku vážením na laboratorních vahách KERN 572 (s přesností 0,01 g),
- stanovení šířky a délky bílku pomocí posuvného měřidla SOMET 14016458 KS a výšky bílku výškovým posuvným měřidlem (obě měřidla s přesností 0,01 mm)
- příprava vzorků jednotlivých vaječných tekutin následujícím způsobem:
  - žloutek – byl získán po rozklepnutí vejce na podložku, a to oddělením veškerého podílu bílku a převeden do kádinky,
  - bílek – všechny vrstvy bílku) byl z podložky převeden do kádinky,

- melanz – se získala smícháním žloutku s bílkem daného vejce,
- stanovení pH žloutku, bílku i melanze pomocí pH metru WTW Microprocessor pH Meter pH 95 (s přesností 0,01 pH),
- stanovení sušiny žloutku, bílku a melanze, sušení při teplotě 105 °C po 4 hod a 30 min do konstantní hmotnosti (ČSN 57 2301):
  - žloutek – navážka 5 g,
  - bílek – navážka 6 – 7 g,
  - melanz – navážka 5 g,
- stanovení hustoty žloutku, bílku a melanze pomocí pyknometru SIMAX 25 ml při teplotě 20 °C:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}),$$

kde  $V$  je objem pyknometru s tekutinou (ml),  $m_2$  je hmotnost osušeného pyknometru naplněného sledovanou tekutinou (g) a  $m_1$  je hmotnost prázdného suchého pyknometru (g).

Pomocí těchto údajů byly stanoveny:

- Haughovy jednotky

$$HU = 100 \cdot \log(H - 1,7W^{0,37} + 7,57),$$

kde  $H$  je výška bílku (mm) a  $W$  je hmotnost vejce (g),

- index bílku

$$I_b = \frac{V}{\bar{S}} \cdot 100 \quad (\%),$$

kde  $V$  je výška hustého bílku (mm) a  $\bar{S}$  je průměrná šířka bílku vyjádřená jako: ((maximální délka+minimální délka)/2) (mm),

- index žloutku

$$I_z = \frac{V}{\bar{S}} \cdot 100 \quad (\%),$$

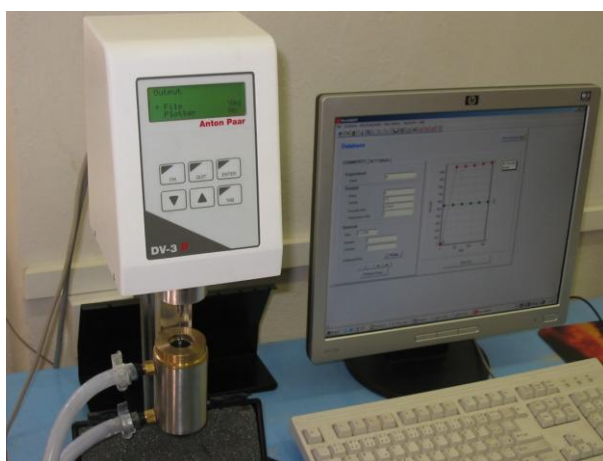
kde  $V$  je výška žloutku (mm) a  $\bar{S}$  je šířka žloutku (mm).

Pro každé měření bylo použito 15 vajec.

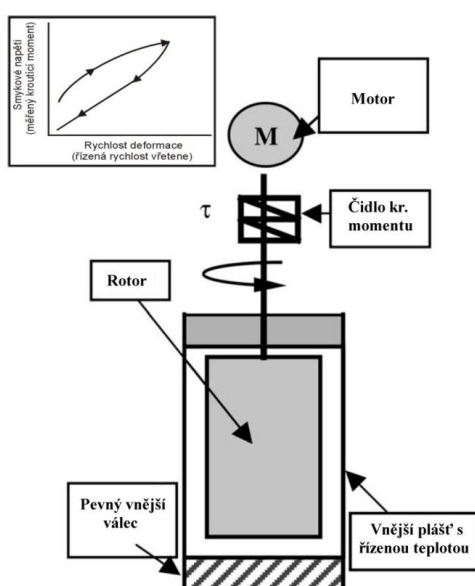
#### 4.2.3 Hodnocení reologických vlastností

Pro hodnocení reologických vlastností vaječných tekutin byly připraveny vzorky jednotlivých tekutin způsobem uvedeným v přecházející kapitole 4.2.2, a to v objemu

30 ml. Měření probíhalo na rotačním viskozimetru Anton Paar DV-3P. Tento viskozimetr měří kroutící moment rotujícího vřetena ponořeného do vzorku, pracuje na principu měření kroutící síly, nutné k překonání odporu u rotujícího válce nebo disku ponořeného v měřeném materiálu. Rotující válec nebo vřeteno jsou propojeny přes pružinu s hřídelí motoru, který se točí definovanou rychlostí. Úhel pootočení hřídele je měřen elektronicky a poskytuje přesnou informaci o poloze hřídele, potažmo vřetene. Výstupem je hodnota smykového napětí  $\tau$  a rychlost deformace  $\dot{\gamma}$ . Z měřených hodnot je na základě interních výpočtů přímo zobrazena hodnota viskozity v mPas. Použitý rotační viskozimetr Anton Paar DV-3P je uveden na Obr. 12. Obr. 13 schematicky znázorňuje měřící zařízení.



Obr. 12 Rotační viskozimetr Anton Paar DV-3P (Severa, 2008)



Obr. 13 Schematické znázornění mechanismu měření (Severa, 2008)

**Technické údaje použitého přístroje jsou následující:**

*Rozsahy měření pro standardní vřetena:*

- DV-3P L: 15 \*) do 2 000 000 mPas = 15 \*\*) do 2 000 000 mPas.
- DV-3P R: 100 \*) do 13 000 000 mPas = 100 \*\*) do 13 000 000 mPas.
- DV-3P H: 0,16 \*\*) do 106 000 mPas = 1,6 \*) do 1 060 000 mPas.

\*) omezeno vlivem turbulence,

\*\*) pro měření odpovídající 10 % plného rozsahu

*Rozlišení:*

- Pro adaptér „nízká viskozita“: 0,01.
- Viskozita < 10 000 mPas: 0,1.
- Viskozita > 10 000 mPas: 1.

*Přesnost:*

- $\pm 1\%$  z plného rozsahu.

*Opakovatelnost:*

- $\pm 0,2\%$  z plného rozsahu.

*Hodnoty momentu (plné zatížení):*

- DV-3P L: 0,07 mNm.
- DV-3P R: 0,7 mNm.
- DV-3P H: 5,8 mNm.

*Teplota místnosti:*

- 10 – 35 °C.

*Vlhkost:*

- Max. 80 % relativní vlhkost do 31 °C.
- Max. 50 % relativní vlhkost do 40 °C.

*Teplotní senzor Pt 100:*

- Rozsah: 0 – 100 °C.
- Rozlišení: 0,1 °C.
- Přesnost:  $\pm 0,25$  °C.
- Opakovatelnost:  $\pm 0,1$  °C.

*Výstupy:*

- RS 232.
- Zapisovač 1 kanál.
- 0 V do 5 V DC vstup.

- Přesnost nejméně 1 % z plného rozsahu.

*Rozměry (délka x šířka x výška):*

- 350 × 300 × 500 mm.

*Materiál vřeten:*

- AISI 316 nerez ocel.

#### **4.2.4 Stanovení deformační křivky podskořápkových blan vejce**

Vzorky blány o rozměrech 15 × 15 mm byly uchyceny v držáku, který umožňuje jejich zatěžování v tahu. Vzorky byly připraveny následujícím způsobem:

- Vejce byla rozříznuta na dvě poloviny pomocí mikrobrusky s nástavcem ve tvaru talíře, a to podélně od tupého konce vejce k ostrému konci vejce. Z prostřední části jedné poloviny skořápky (z rovníkové části) byl vytvořen, pomocí skalpelu, vzorek o rozměru 15 × 15 mm. Tyto rozměry byly stanoveny posuvným měřidlem SOMET 14016458 KS (s přesností 0,01 mm).
- Tloušťka blan byla stanovena pomocí digitálního třmenového mikrometru SCHUT, 0 – 25 mm (s přesností 0,001 mm), kdy byl vzorek blány vložen mezi dvě hliníkové destičky o definovaných tloušťkách a následně byla stanovena celková tloušťka (vzorku + hliníkových destiček). Tloušťka vzorku blány se získala po odečtení tloušťky hliníkových destiček z celkové tloušťky (vzorku + hliníkových destiček).

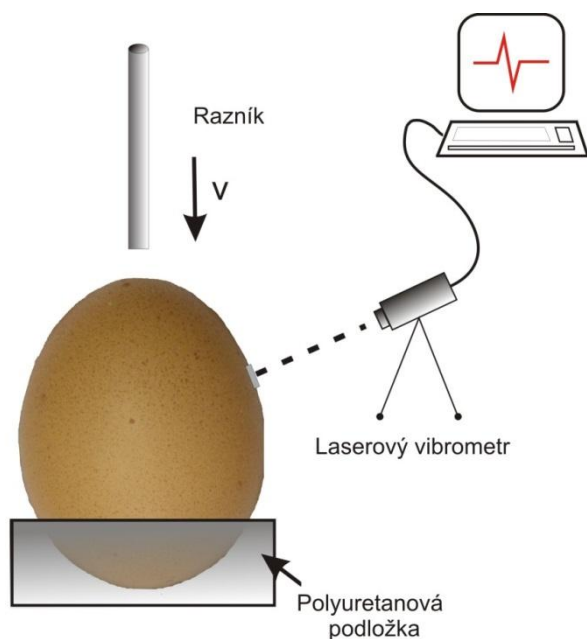
Vzorky byly zatěžovány v tahu konstantní rychlostí 1, 10, 100, 400 a 800 mm·min<sup>-1</sup>. Pro zatěžování byl použit zkušební stroj TIRAtest 27025, který vyrábí německá firma *TIRA Maschinenbau GmbH*. Zkušební stroj TIRAtest 27025 je uveden na Obr. 14.



Obr. 14 Přístroj TIRAtest 27025

#### 4.2.5 Hodnocení odezvy vajec na rázové zatěžování

Pro sledování odezvy vajec na rázové zatěžování byla použita experimentální metoda schematicky znázorněná na Obr. 15 (Trnka *et al.*, 2008; Nedomová *et al.*, 2009).



Obr. 15 Schéma rázového zatěžování vajec (levá část), na pravé straně je pohled na křepelčí vejce, na které dopadl razník, terčik je v místě, kde se snímá výchylka povrchu

Vejde je uloženo v bloku polyuretanové pěny, což zaručuje minimální vliv uložení na výslednou odezvu a současně opakovanou přesnost tohoto uložení. Vejce je zatěžováno dopadem duralové tyče kruhového průřezu délky 200 mm, průměru 6 mm. Na tyči je nalepen polovodičový tenzometr, který umožňuje snímat časový průběh síly v místě kontaktu tyč – povrch vaječné skořápky. Tyč je upevněna na bifilárním závěsu a výška dopadu může být prakticky spojitě měněna. V současném zařízení může výška dopadu být až 750 mm. V našem případě bylo vejce zatěžováno rázem na tupý konec. Odezva byla měřena na rovníku pomocí laserového vibrometru. Jde o bezkontaktní metodu, která neovlivňuje vlastní kmity vejce. V daném případě byla snímána výchylka povrchu, stejně tak lze stanovit rychlost povrchu vaječné skořápky.

#### *Sběr a zpracování dat:*

Odezvové signály byly zaznamenány digitálním osciloskopem a dále přeneseny do počítače. Signály byly zpracovávány pomocí programu MATLAB s využitím přídatných programů Toolbox jako Signal processing apod. Tento program umožňuje zpracování signálů jak v časové oblasti, tak ve frekvenční oblasti, kdy lze jednoduchým příkazem „fft“ realizovat Fourierovu transformaci.

Pro zpracování veškerých výsledků byl použit Statistics Toolbox již zmíněného programu MATLAB. Při statistickém hodnocení byly použity tyto základní statistické charakteristiky: počet vzorků –  $n$ , aritmetický průměr –  $\bar{x}$ , směrodatná odchylka –  $s_x$ , maximální hodnota –  $x_{max}$ , minimální hodnota –  $x_{min}$ , analýza rozptylu – ANOVA, hodnota testové charakteristiky –  $F$ , hodnota pravděpodobnosti –  $P$ .

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Vlastnosti a geometrie sledovaných vajec

#### 5.1.1 Přehled základních sledovaných veličin

Jako základní vlastnosti sledovaných vajec byly stanoveny následující veličiny: hmotnost vajec  $m$ , délka (výška) vajec  $L$  a šířka vajec  $W$ . Dále byly stanoveny tloušťky skořápek a podskořápkových blan a vlastnosti vaječných tekutin, a to hustota bílku, žloutku a melanže, pH a sušina těchto vaječných tekutin. Znalost základních rozměrů vajec  $L$  a  $W$  umožňuje definovat další veličiny (Mohsenin, 1970):

Index tvaru:

$$SI = \frac{W}{L} \cdot 100 \quad (\%). \quad (1)$$

Ekvivalentní průměr  $D_g$ , tzn. průměr koule nahrazující vlastní vejce:

$$D_g = (LW^2)^{\frac{1}{3}}. \quad (2)$$

Znalost tohoto poloměru umožňuje stanovit sféricitu  $\Phi$ , která často bývá vyjadřována v procentech:

$$\Phi = \frac{D_g}{L}. \quad (3)$$

Pro objem  $V$  a povrch vejce  $S$  pak platí:

$$V = \frac{1}{6} \pi D_g^3, \quad S = \pi D_g^2. \quad (4)$$

Současně byly z digitálních snímků vajec stanoveny souřadnice obrysově křivky  $x_i$ ,  $y_i$ , postupem, který je popsán např. v pracích Severa *et al.* (2013), Nedomová a Buchar (2014). Místo souřadnic  $x_i$ ,  $y_i$ , je vhodnější použít polárních souřadnic  $r_i$  a  $\varphi_i$ :

$$r_i = \sqrt{(x_i^2 + y_i^2)}, \quad \varphi_i = \arctg\left(\frac{y_i}{x_i}\right).$$

Experimentálně stanovené body  $r_i$  a  $\varphi_i$  lze proložit pomocí Fourierovy řady:

$$r = a_0 + \sum_{i=1}^{i=\infty} [a_i \cos(iw\varphi) + b_i \sin(iw\varphi)] \quad (5)$$

Pro souřadnice  $x$ ,  $y$  pak platí:

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi.$$



Znalost souřadnic umožňuje stanovit objem a povrch vaječné skořápky pomocí:

$$V = \pi \int_{\phi_1}^{\phi_2} r^2(\phi) \sin^2 \phi \frac{dx(\phi)}{d\phi} d\phi, \quad S = 2\pi \int_0^\pi r \sin \phi \sqrt{\left(\frac{dx}{d\phi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\phi}\right)^2} d\phi. \quad (6)$$

Pro plochu průmětu  $A$  do roviny procházející osou symetrie skořápky a pro délku obrysu  $l$  platí:

$$A = \frac{1}{2} \oint r^2 d\phi, \quad l = \oint ds = \oint r d\phi. \quad (7)$$

Znalost veličin (7) umožňuje popsat tvar průmětu vajec do roviny procházející osou symetrie skořápky pomocí následujících veličin (Saad *et al.*, 2011):

$$\text{Prodloužení} = \frac{F}{R}, \quad (8)$$

kde  $F$  je největší vzdálenost dvou bodů na obrysu, v případě vajec jde o jejich výšku  $L$  a  $R$  je strana čtverce, který má plochu  $A$ , tzn.  $R = \sqrt{A}$ .

$$\text{Kruhovitost} = \frac{l}{2\sqrt{\pi A}}, \quad (9)$$

což je poměr délky obrysu vejce a poloměru kružnice, která má stejný obsah jako plocha průměru vejce do roviny procházející osou symetrie.

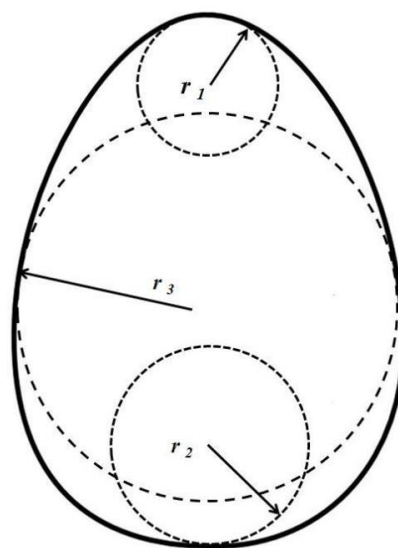
$$\text{Kompaktnost} = \frac{A}{LW}, \quad (10)$$

kde  $A$  je plocha průměru vejce do roviny procházející osou symetrie a  $LW$  je plocha obdélníku opsaného průmětu.

Pro popis kontaktního zatěžování vajec je potřeba znát i poloměr křivosti  $R$  v místě kontaktu vejce – zatěžující těleso, resp. i v místě kontaktu dvou vajec. Pro poloměr křivosti rovinné křivky popsané polárními souřadnicemi platí:

$$R = \frac{\left[ \left( \frac{dx}{d\phi} \right)^2 + \left( \frac{dy}{d\phi} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{\left| \frac{dx}{d\phi} \frac{d^2 y}{d\phi^2} - \frac{dy}{d\phi} \frac{d^2 x}{d\phi^2} \right|}. \quad (11)$$

Pro většinu případů je vhodné stanovit poloměry křivosti ve třech nejvýznamnějších bodech, a to na ostrém konci, na tupém konci a v místě největší šířky vejce (na rovníku), což je znázorněno na Obr. 16.

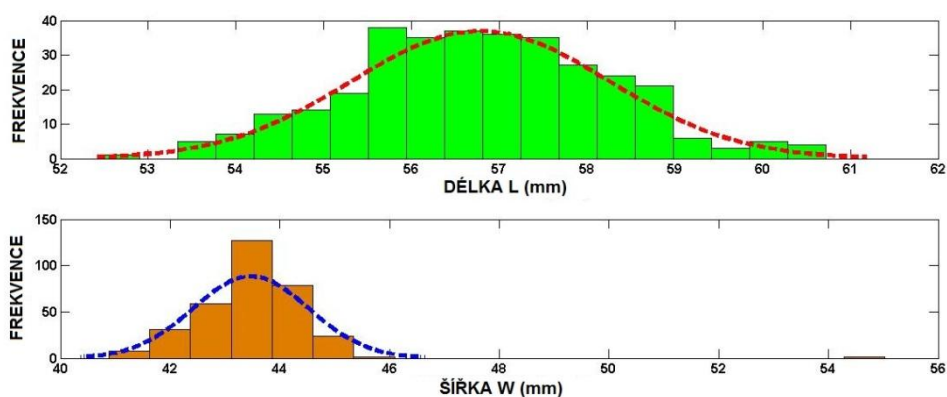


Obr. 16 Schéma poloměrů křivosti a oskulačních kružnic

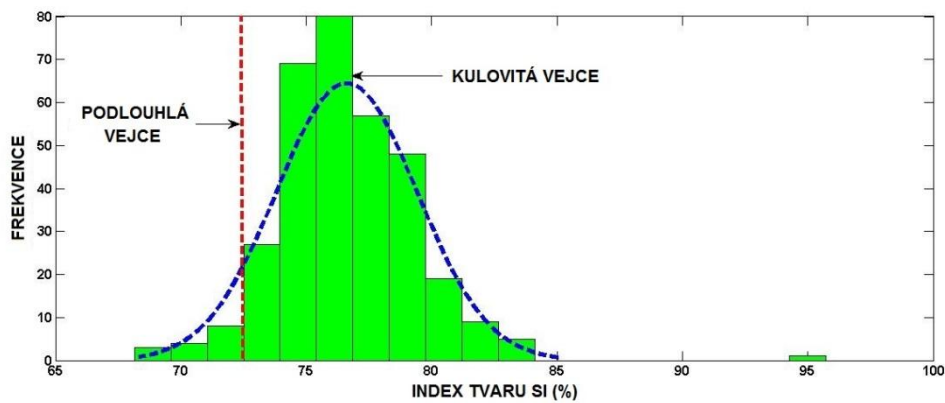
V následujících odstavcích jsou uvedeny základní parametry pro vejce jednotlivých druhů drůbeže.

### 5.1.2 Základní sledované veličiny u slepičích vajec

Celkem bylo použito 300 vajec. Distribuce jednotlivých geometrických charakteristik jsou vyneseny na Obr. 17 – Obr. 22.

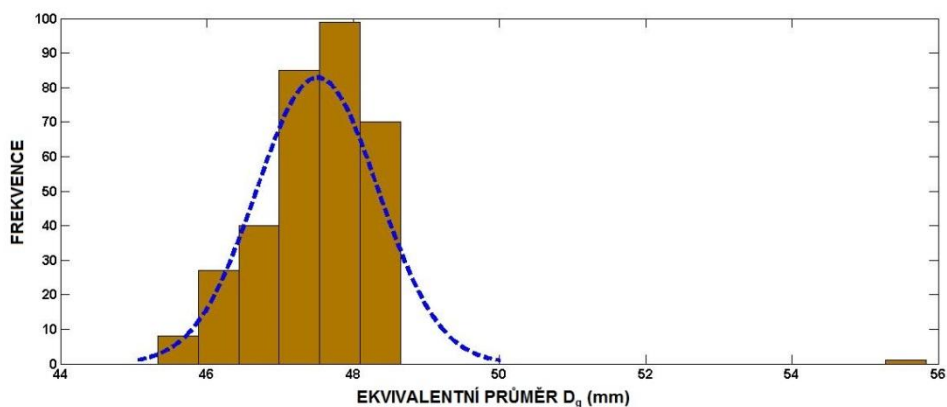


Obr. 17 Distribuce základních rozměrů slepičích vajec

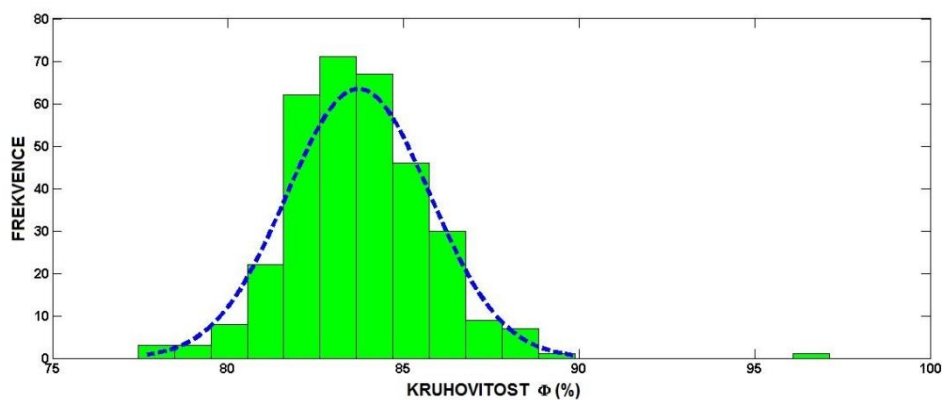


Obr. 18 Distribuce tvarových indexů slepičích vajec

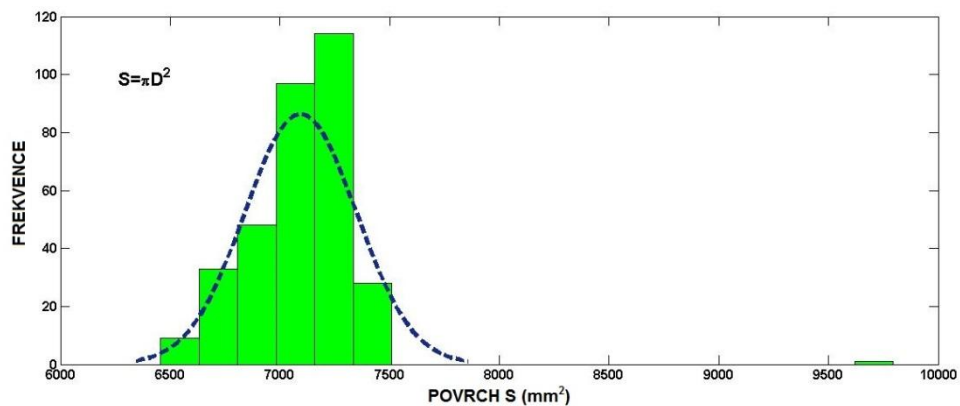
Podle Altuntaş a Şekeroğlu (2008) jsou vejce, pro které je  $SI < 72$  označována jako podlouhlá, pro  $72 < SI < 76$  označována jako vejčitá a pro  $SI > 76$  označována jako kulovitá.



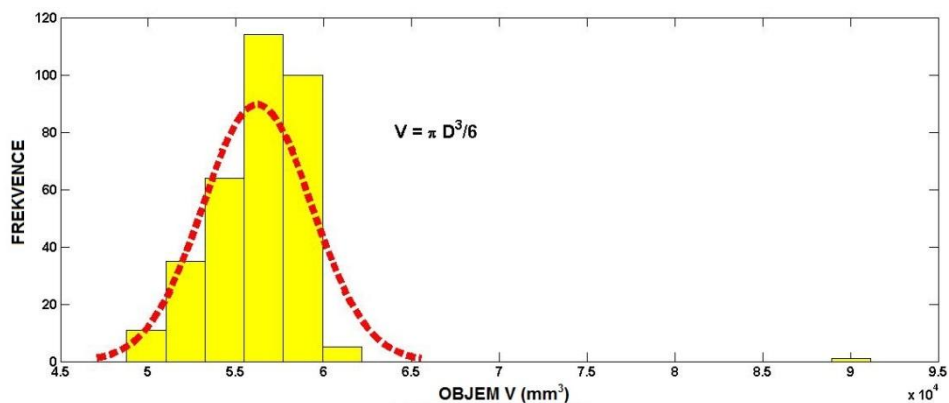
Obr. 19 Distribuce ekvivalentního průměru slepičích vajec



Obr. 20 Rozložení kruhovitosti slepičích vajec



Obr. 21 Rozložení velikosti povrchu vaječné skořápky

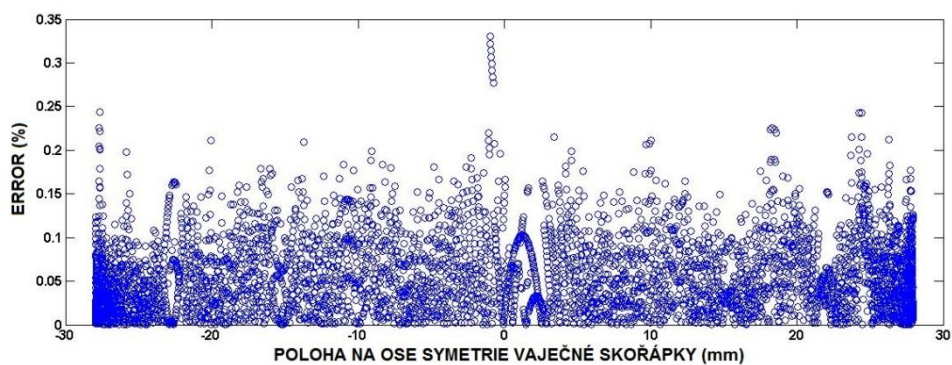


Obr. 22 Rozložení objemu slepičích vajec

V další části byly stanoveny obrysy vaječné skořápky. Koefficienty Fourierovy řady jsou uvedeny v příloze práce. Rozdíl mezi aproximovaným a reálným obrysem lze popsat pomocí funkce:

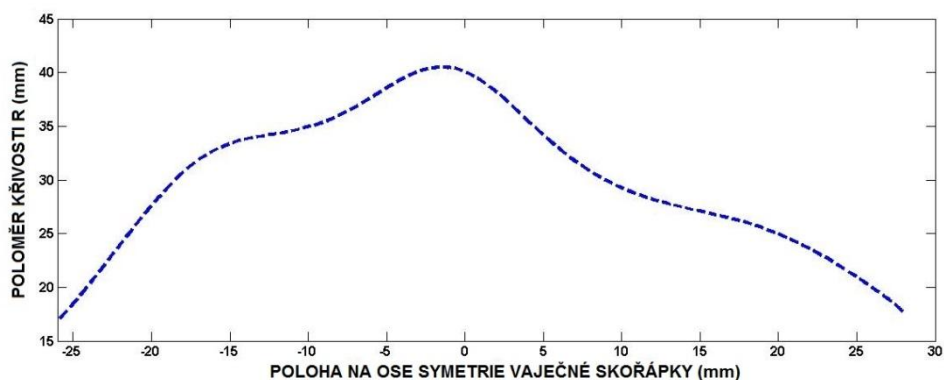
$$ERROR = \left| \frac{Y_{measured} - Y_{fitted}}{Y_{measured}} \right| \cdot 100 \quad (\%), \quad (12)$$

kde  $Y_{measured}$  je naměřená souřadnice  $y$  a  $Y_{fitted}$  je souřadnice  $y$  stanovená pomocí aproximace výsledků Fourierovou řadou. Z příkladu na Obr. 23 je patrné, že rozdíly mezi skutečným a aproximovaným obrysem jsou téměř zanedbatelné. Tato skutečnost byla potvrzena pro veškerá sledovaná vejce.



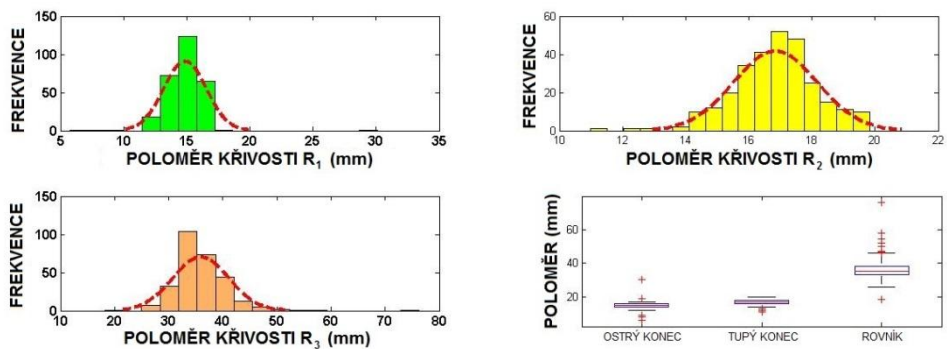
Obr. 23 Rozdíl mezi naměřeným obrysem a obrysem stanoveným pomocí Fourierovy řady

Na Obr. 24 je uveden příklad průběhu poloměru křivosti. Je zřejmé, že tvar obrysu skořápky je poněkud složitější, než vyplývá na první pohled. Existují oblasti, kde lze pozorovat téměř konstantní hodnoty poloměru křivosti, což odpovídá části kružnice.



Obr. 24 Průběh poloměru křivosti slepičího vejce

Distribuce významných poloměrů křivosti dle Obr. 16 je uvedena na Obr. 25.



Obr. 25 Rozložení významných poloměrů kružnice slepičích vajec

V Tab. 11 a Tab. 12 jsou uvedeny základní statistické údaje o jednotlivých veličinách a poloměrech křivosti.

Tab. 11 Hmotnost a základní rozměry slepičích vajec

Veličina	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
m (g)	53,09	60,61	64,29	2,56
L (mm)	52,47	56,78	60,72	1,47
W (mm)	40,88	43,47	55,03	1,05
SI (%)	68,15	76,61	95,72	2,81
D <sub>g</sub> (mm)	45,33	47,51	55,84	0,83
Φ (%)	77,44	83,71	97,13	2,04
S (mm <sup>2</sup> )	6455,69	7094,28	9795,14	254,17
V (mm <sup>3</sup> )	48773,89	56213,58	91156,99	3104,34

Tab. 12 Významné poloměry křivosti slepičích vajec

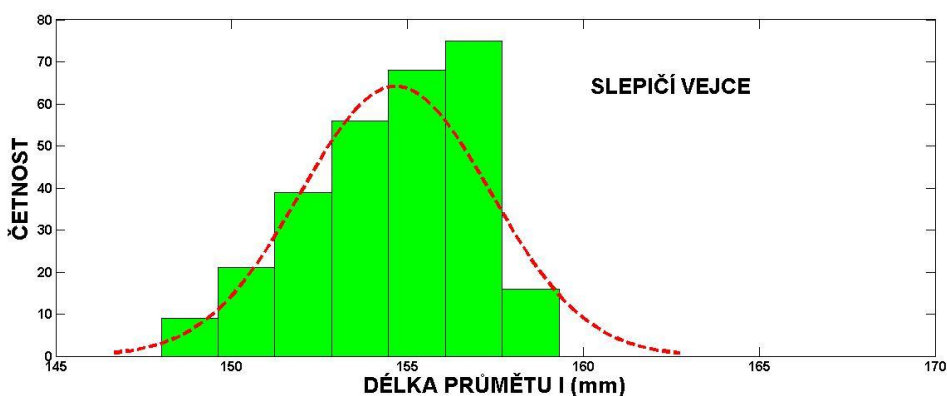
	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
Ostrý konec R <sub>1</sub> (mm)	5,73738	14,86003	30,11716	1,67851
Tupý konec R <sub>2</sub> (mm)	10,99334	16,83959	19,82491	1,32786
Rovník R <sub>3</sub> (mm)	18,14133	35,93757	76,29034	5,16645

Pokud je označen objem a povrch skořápky stanovený pomocí rovnic (6) jako  $S_I$  a  $V_I$ , tak lze získat lineární závislosti:

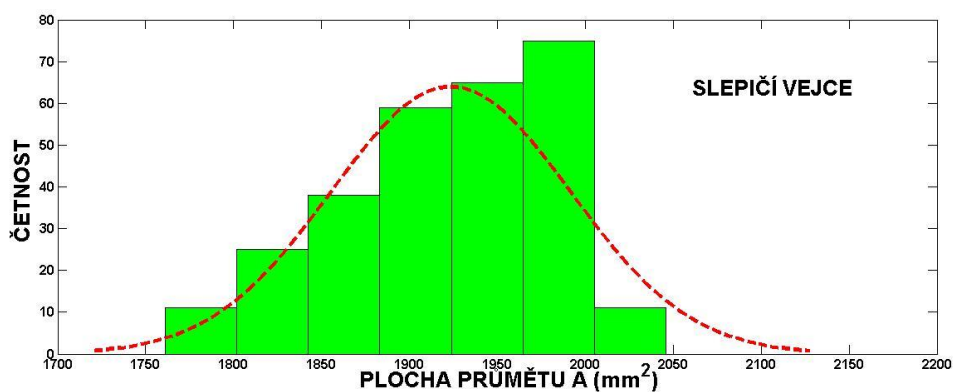
$$\begin{aligned} V_1 &= 4041 + 0,9353V & R^2 &= 0,9982, \\ S_1 &= 535,9 + 0,9392S & R^2 &= 0,9871, \end{aligned} \quad (13)$$

kde  $S$  a  $V$  jsou povrch a objem skořápky stanovený pomocí rovnic (4). Je zřejmé, že tyto veličiny  $S$  a  $V$  umožňují spolehlivou predikci exaktních hodnot těchto veličin.

Dále byly stanoveny délka průmětu  $l$  a plocha průmětu  $A$ . Rozložení těchto veličin je uvedeno na Obr. 26 a Obr. 27.

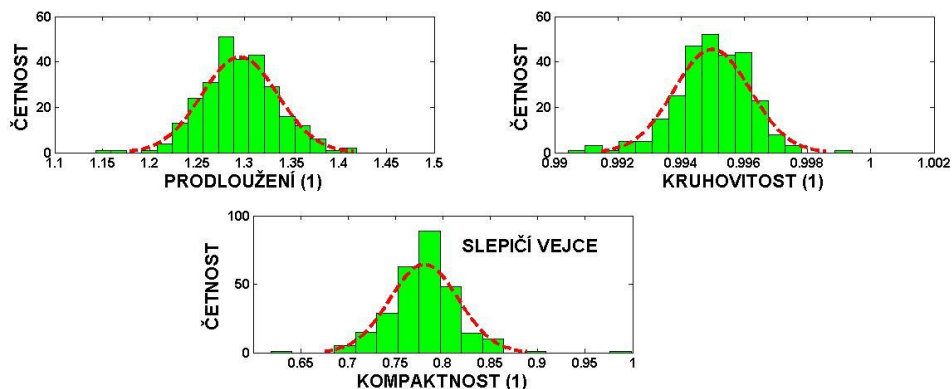


Obr. 26 Rozložení délek průmětu slepičích vajec



Obr. 27 Rozložení ploch průmětu slepičích vajec

Pomocí těchto dvou veličin byly stanoveny charakteristiky definované vztahy (8) – (10). Jejich distribuce je uvedena na Obr. 28.



Obr. 28 Rozložení veličin definovaných v rovnicích (8) – (10) pro slepičí vejce

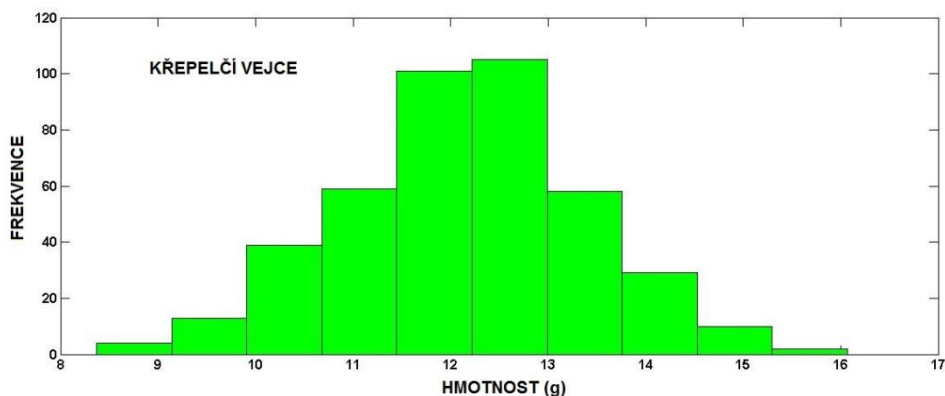
Základní statistické charakteristiky všech zmíněných veličin jsou uvedeny v Tab. 13.

Tab. 13 Veličiny spojené s průmětem skořápky do roviny obsahující osu symetrie

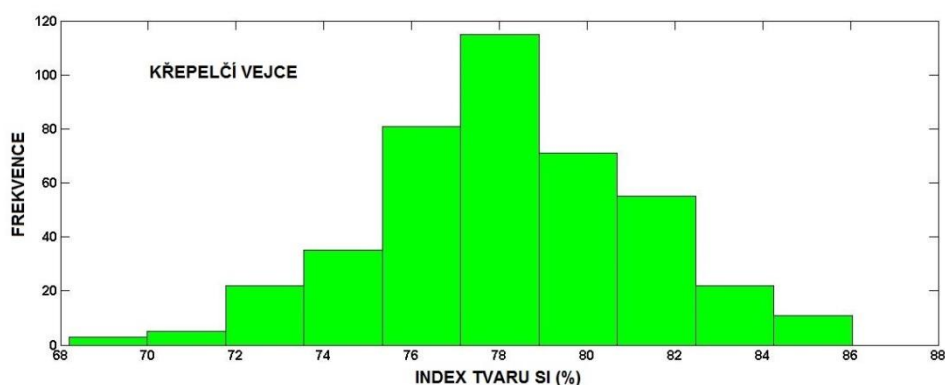
Veličina	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
l (mm)	147,999	154,665	175,460	2,695
A (mm <sup>2</sup> )	1761,029	1923,472	2452,835	68,095
Prodloužení	1,143	1,295	1,418	0,040
Kruhovitost	0,990	0,995	0,999	0,001
Kompaktnost	0,618	0,780	0,998	0,036

### 5.1.3 Základní sledované veličiny u křepelčích vajec

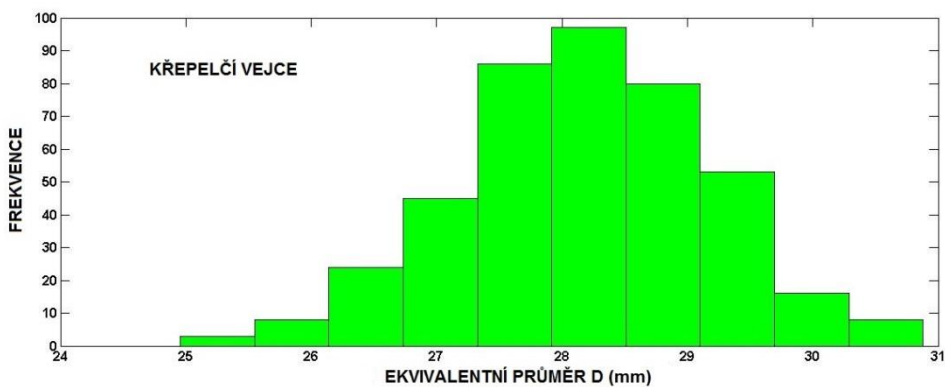
V pokusu bylo použito 500 vajec. Protože údaje o geometrii křepelčích vajec nebyly souhrnně publikovány, jsou na Obr. 29 – Obr. 34 vyneseny distribuční křivky základních veličin popisující hmotnost a geometrii vajec.



Obr. 29 Četnost hmotností křepelčích vajec

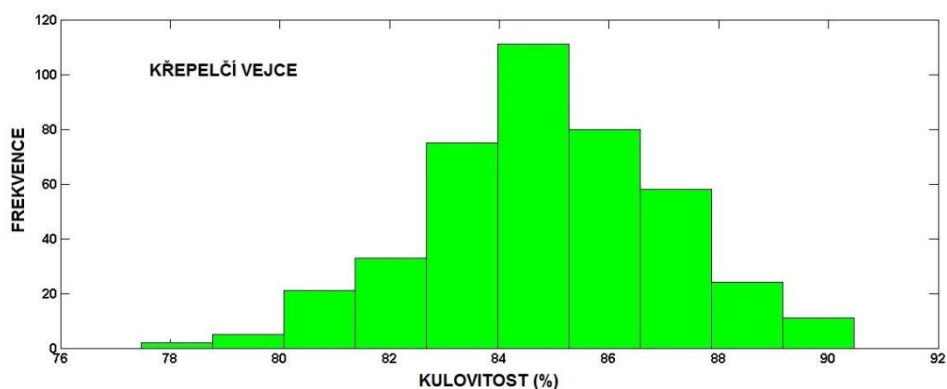


Obr. 30 Distribuce tvarových indexů křepelčích vajec

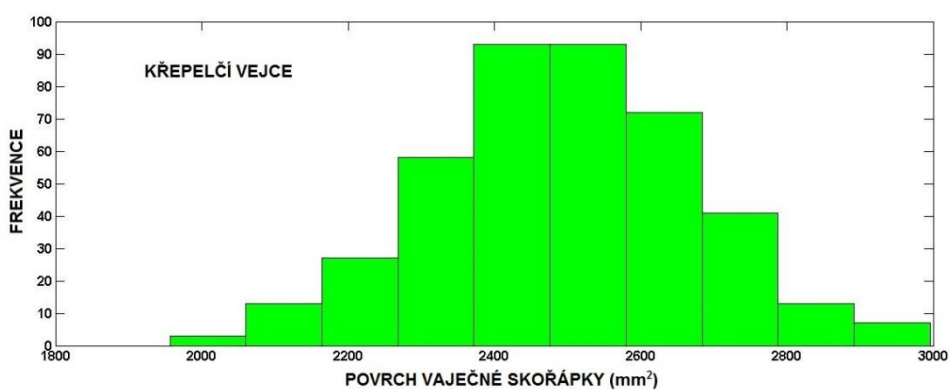


Obr. 31 Rozložení ekvivalentních průměrů křepelčích vajec

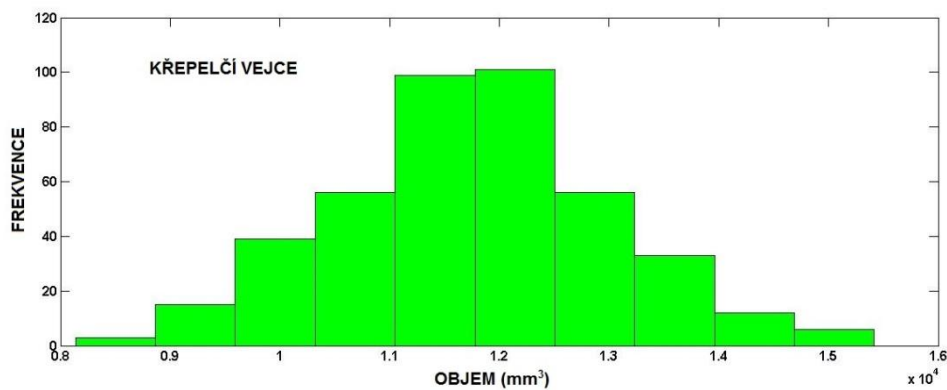




Obr. 32 Kulovitost křepelčích vajec



Obr. 33 Povrch vaječné skořápky stanovený pomocí rovnice (4) pro křepelčí vejce



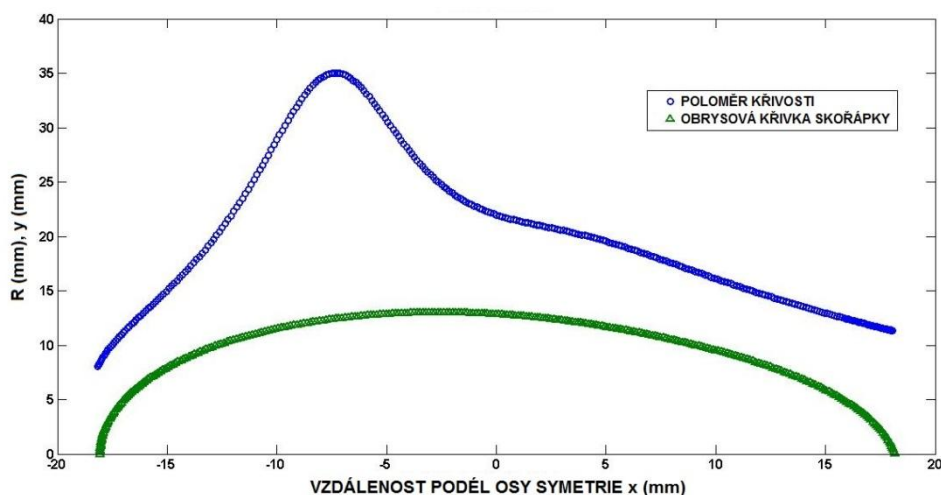
Obr. 34 Objem vaječné skořápky stanovený pomocí rovnice (4) pro křepelčí vejce

Základní statistické údaje o prezentovaných veličinách uvádí Tab. 14.

Tab. 14 Základní statistická data veličin prezentovaných na Obr. 29 – Obr. 34

Veličina	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
m (g)	8,37	12,15	16,07	1,26
L (mm)	28,72	33,24	38,02	1,59
W (mm)	22,67	25,94	28,91	0,95
SI (%)	68,20	78,15	86,04	3,04
D <sub>g</sub> (mm)	24,96	28,17	30,88	1,02
F (%)	77,48	84,83	90,46	2,21
S (mm <sup>2</sup> )	1956,47	2496,33	2995,64	179,51
V(mm <sup>3</sup> )	8137,36	11750,78	14532,81	1263,76

Dále byly stanoveny obrysové křivky vaječných skořápek. Příslušné koeficienty Fourierovy řady jsou obsahem přílohy práce. Znalost křivky umožňuje mj. výpočet poloměru křivosti. Příklad poloměru křivosti je uveden na Obr. 35.



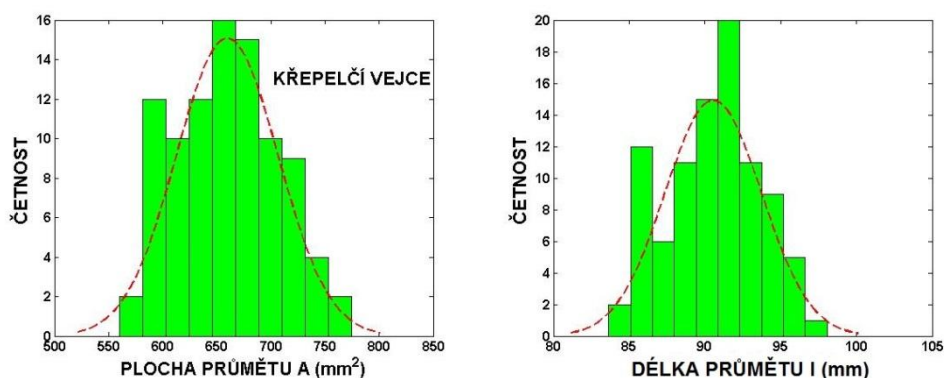
Obr. 35 Příklad průběhu poloměru křivosti obrysové křivky skořáčky křepelčího vejce

Příslušné statistické veličiny jsou obsahem Tab. 15.

Tab. 15 Významné poloměry křivosti křepelčích vajec

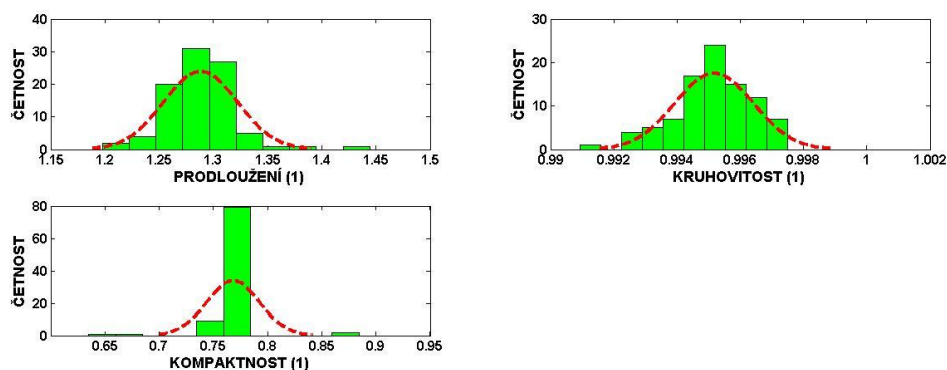
	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
Ostrý konec R <sub>1</sub> (mm)	3,936	7,525	9,896	1,523
Tupý konec R <sub>2</sub> (mm)	9,636	11,991	15,084	1,090
Rovník R <sub>3</sub> (mm)	20,974	29,445	63,278	6,257

Dále byly stanoveny délka průmětu  $l$  a plocha průmětu  $A$ . Rozložení těchto veličin je uvedeno na Obr. 36.



Obr. 36 Distribuce délky a plochy průmětu skořápky do roviny obsahující osu symetrie

Pomocí těchto dvou veličin byly stanoveny charakteristiky definované vztahy (8) – (10). Jejich distribuce je uvedena na Obr. 37.



Obr. 37 Distribuce veličin stanovených pomocí rovnic (8) – (10) pro křepelčí vejce

Statistické údaje o veličinách znázorněných na Obr. 36 a Obr. 37 jsou obsahem Tab. 16.

Tab. 16 Statistické údaje o veličinách znázorněných na Obr. 36 a Obr. 37

Veličina	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
l (mm)	83,651	90,544	98,058	3,192
A (mm <sup>2</sup> )	560,339	659,592	774,609	46,988
Prodloužení	1,198	1,288	1,444	0,034
Kruhovitost	0,991	0,995	0,996	0,001
Kompaktnost	0,635	0,768	0,884	0,0244

#### 5.1.4 Základní sledované veličiny u husích vajec

V pokusu bylo použito 85 vajec. Základní statistická data o veličinách popisujících geometrii husích vajec jsou uvedena v Tab. 17. Distribuční křivky jsou obsaženy v práci Nedomová a Buchar (2014).

Tab. 17 Základní statistické údaje o geometrii husích vajec

Veličina	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
m (g)	156,40	185,32	234,57	15,19
L (mm)	59,14	91,35	114,00	6,67
W (mm)	56,73	59,95	66,00	1,77
SI (%)	52,57	66,06	103,80	6,52
D <sub>g</sub> (mm)	60,59	68,94	75,17	2,38
Φ (1)	0,65	0,76	1,03	0,05
S (mm <sup>2</sup> )	11531,00	14950,00	17751,00	1019,10
V (mm <sup>3</sup> )	116438,70	172178,46	222377,64	17431,78

V další části byly stanoveny obrysy vaječné skořápky. Koeficienty Fourierovy řady jsou uvedeny v příloze práce. V Tab. 18 jsou uvedeny statistické údaje o poloměrech křivosti.

Tab. 18 Významné poloměry křivosti husích vajec

	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
Ostrý konec R <sub>1</sub> (mm)	2,00578	16,42612	34,12630	3,42751
Tupý konec R <sub>2</sub> (mm)	3,26363	21,52912	36,93193	3,51505
Rovník R <sub>3</sub> (mm)	9,60413	62,01743	90,10790	12,39580

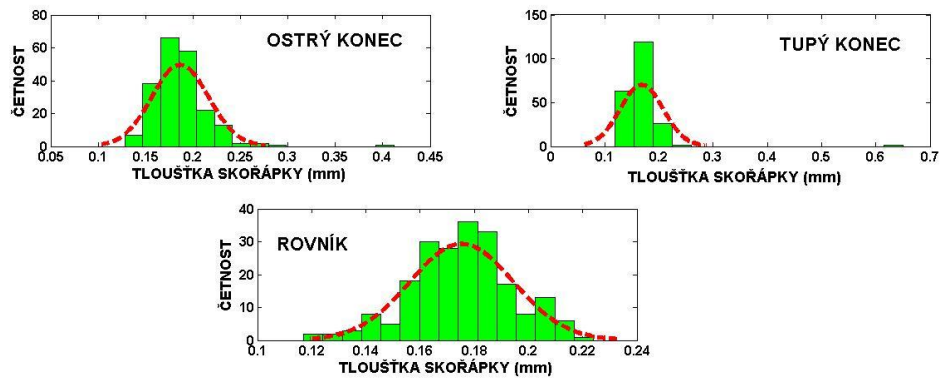
Dále byly stanoveny délka průmětu  $l$  a plocha průmětu  $A$ . Pomocí těchto dvou veličin byly stanoveny charakteristiky definované vztahy (8) – (10). Souhrn těchto veličin je obsahem Tab. 19.

Tab. 19 Veličiny spojené s průmětem skořápky do roviny obsahující osu symetrie

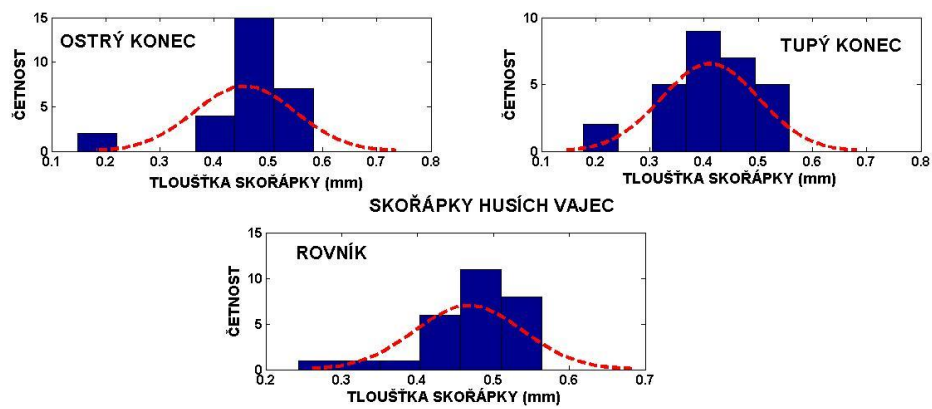
Veličina	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
$l$ (mm)	160,224	226,234	250,717	13,396
$A$ (mm <sup>2</sup> )	2302,669	4196,848	5268,632	434,328
Prodloužení	1,116	1,413	1,954	0,094
Kruhovitost	0,897	0,986	0,999	0,0114
Kompaktnost	0,406	0,767	0,783	0,0516

### 5.1.5 Tloušťka skořápek a podskořápkových blan

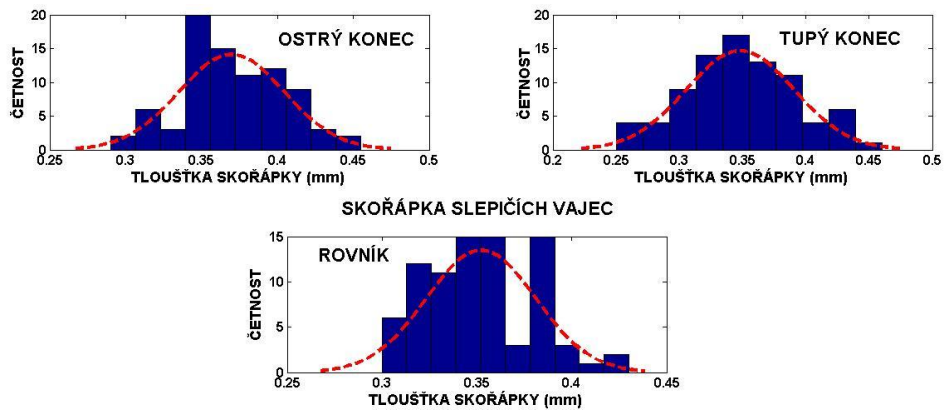
Pro hodnocení výsledků je nezbytné znát tloušťku skořápek a podskořápkových blan. V případě skořápky je známo, že její tloušťka se mění podél obvodu osového řezu vejce. Z tohoto důvodu byla tloušťka měřena u ostrého konce, u tupého konce a na rovniku. Distribuce těchto veličin je postupně uvedena na Obr. 38 – Obr. 40.



Obr. 38 Distribuce tlouštěk skořápek u křepelčích vajec



Obr. 39 Distribuce tlouštěk skořápek u husích vajec



Obr. 40 Distribuce tlouštěk skořápek u slepičích vajec

Základní statistické údaje jsou uvedeny v Tab. 20 – Tab. 22.

Tab. 20 Základní data o tloušťce skořápek slepičích vajec

	<b>Minimum</b>	<b>Průměr</b>	<b>Maximum</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Ostrý konec (mm)	0,290	0,370	0,455	0,035
Tupý konec (mm)	0,250	0,348	0,460	0,043
Rovník (mm)	0,300	0,352	0,430	0,029

Tab. 21 Základní data o tloušťce skořápek husích vajec

	<b>Minimum</b>	<b>Průměr</b>	<b>Maximum</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Ostrý konec (mm)	0,148	0,457	0,583	0,093
Tupý konec (mm)	0,178	0,411	0,557	0,090
Rovník (mm)	0,243	0,468	0,564	0,071

Tab. 22 Základní data o tloušťce skořápek křepelčích vajec

	<b>Minimum</b>	<b>Průměr</b>	<b>Maximum</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Ostrý konec (mm)	0,128	0,186	0,412	0,0298
Tupý konec (mm)	0,118	0,168	0,626	0,0395
Rovník (mm)	0,117	0,175	0,222	0,0190

Základní údaje o tloušťkách podskořápkových blan jsou uvedeny v Tab. 23.

Tab. 23 Tloušťka podskořápkových blan v (mm)

	<b>Minimum</b>	<b>Průměr</b>	<b>Maximum</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Slepičí vejce	0,033	0,070 <sup>a,b</sup>	0,110	0,025
Husí vejce	0,022	0,080 <sup>a</sup>	0,170	0,037
Křepelčí vejce	0,040	0,062 <sup>b</sup>	0,090	0,014

a, b – rozdílné indexy ve sloupci pro jednotlivé veličiny označují statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ )

Použitím analýzy ANOVA se ukázalo, že existuje průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi tloušťkou blan husích a křepelčích vajec.

### 5.1.6 Průměrné hodnoty poloměru křivosti

Jak již bylo uvedeno, poloměr křivosti výtvarné křivky vaječné skořápky představuje významnou veličinu při popisu odezvy vejce na mechanické namáhání. Z příkladů uvedených v předcházejících odstavcích vyplývá, že průběh poloměru křivosti  $R$  podél osy vejce je pro různá vejce různý. Aby bylo možné porovnávat vejce od různých druhů drůbeže, je vhodné definovat průměrnou hodnotu poloměru křivosti  $R_{av}$  pomocí vztahu:

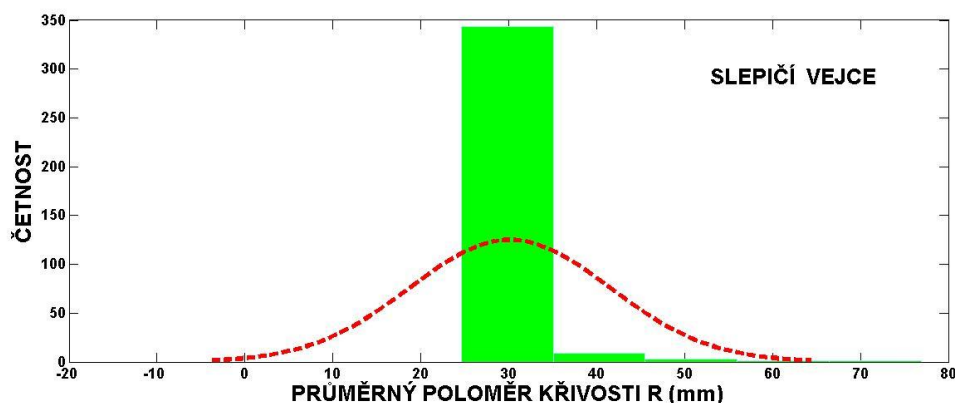
$$R_{av} = \frac{1}{l} \int_l R dl,$$

který v polárních souřadnicích nabývá tvaru:

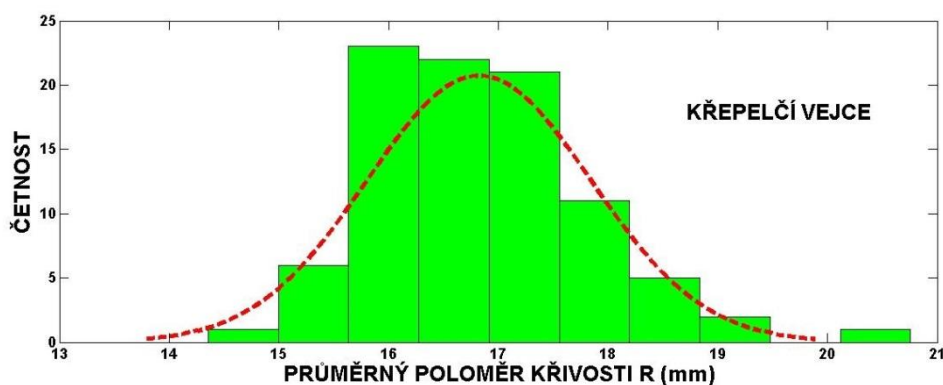
$$R_{av} = \frac{1}{l} \int_0^{2\pi} R(\varphi) \sqrt{\left(\frac{dx}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\varphi}\right)^2} d\varphi,$$

kde  $l$  je dána vztahem (7) a  $R$  rovnicí (11).

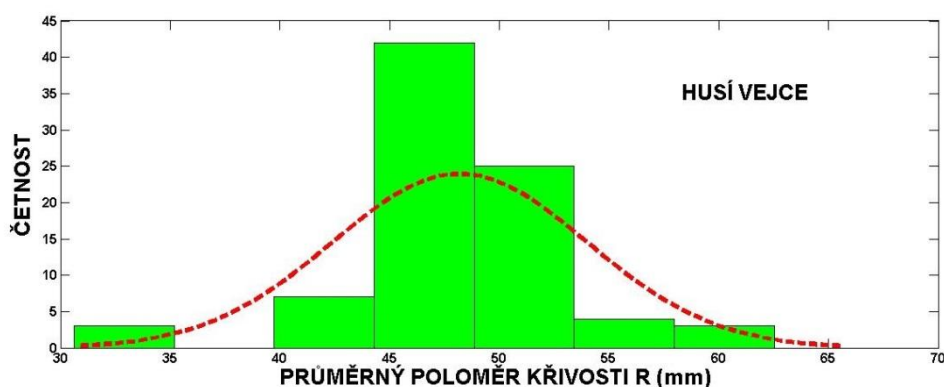
Distribuce průměrných hodnot poloměru křivosti jsou pro jednotlivé druhy sledovaných vajec znázorněny na Obr. 41 – Obr. 43.



Obr. 41 Distribuce průměrných velikostí poloměrů křivosti pro slepičí vejce



Obr. 42 Distribuce průměrných velikostí poloměrů křivosti pro křepelčí vejce



Obr. 43 Distribuce průměrných velikostí poloměrů křivosti pro husí vejce

Základní statistické údaje jsou uvedeny v Tab. 24, kde jsou pro získání celkového přehledu přidány i údaje pro pštrosí vejce (Nedomová a Buchar, 2013).

Tab. 24 Základní statistické údaje o průměrných hodnotách poloměru křivosti v (mm)

Vejce	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
Slepičí vejce	25,38884	37,41910 <sup>a</sup>	88,21045	7,13795
Husí vejce	14,35419	16,82373 <sup>b</sup>	20,75755	1,02014
Křepelčí vejce	30,63415	48,19383 <sup>c</sup>	76,18825	5,81023
Pštrosí vejce	66,40390	68,94020 <sup>d</sup>	71,94457	1,77323

a, b – rozdílné indexy ve sloupci pro jednotlivé veličiny označují statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ )

Tímto způsobem je popsána geometrie sledovaných vajec, kdy se ukazuje poměrně značná variabilita pro vejce různých druhů drůbeže.

## 5.2 Reologie vaječných tekutin

Kvalita vajec je sledována pomocí celé řady veličin, kdy za relativně nejspolehlivější jsou považovány veličiny popisující kvalitu bílku, kdy je nejčastěji používáno Haughových jednotek apod. (Simeonovová *et al.*, 2013; Nedomová a Simeonovová, 2010). Z hlediska experimentálních postupů stanovení těchto jednotek je patrné, že jejich velikost je výrazně ovlivněna tokovými vlastnostmi vaječných tekutin. Tyto vlastnosti, viz kapitola 2, jsou popsány formou konstitutivních rovnic spojujících smykové napětí a rychlost deformace, které pak umožňují stanovit zdánlivou viskozitu. V rámci dané kapitoly jsou nejprve prezentovány základní vlastnosti vaječných tekutin a následně pak tokové vlastnosti.



### 5.2.1 Základní vlastnosti vaječných tekutin

V období od snášky do konzumace vajec dochází k více či méně výrazným změnám jejich kvality. Tyto změny závisí zejména na podmínkách skladování (Silversides a Villeneuve, 1994; Stadelman a Cotterill, 1995; Abrahamsson a Tauson, 1995, 1998; Abrahamsson *et al.*, 1995). Jak již bylo zmíněno v kapitole 2, standardním měřítkem kvality vajec je kvalita bílku, která je obvykle měřena pomocí výšky bílku, resp. pomocí pH, kdy vyšší hodnota pH ukazuje na nižší kvalitu vajec (Silversides a Villeneuve, 1994; Silversides a Scott, 2001). Výška bílku obecně klesá s dobou skladování (Silversides a Scott, 2001; Tilki a Inal, 2004). Kvalita bílku je dále ovlivněna zejména teplotou. V zemích EU a v USA se vejce (slepičí) skladují při teplotách mezi 5 až 18 °C. V rámci vlastních realizovaných výzkumů byla vejce skladována při teplotě 6 °C. Pro jednotlivé druhy vajec byly stanoveny veličiny uvedené v kapitole 4.2.2.

#### 5.2.1.1 Vaječné tekutiny slepičích vajec

V Tab. 25 a Tab. 26 jsou uvedeny hodnoty pH žloutku, bílku a melanže slepičích vajec, včetně dalších základních vlastností.

Tab. 25 Základní vlastnosti vaječných tekutin slepičích vajec – pH

Doba skladování	pH žloutek	pH melanž	pH bílek
1. týden	5,66	7,29	8,00
2. týden	6,02	7,46	8,76
3. týden	6,04	7,33	8,83
4. týden	6,07	7,40	8,82
5. týden	6,13	7,45	8,73
6. týden	6,19	7,47	8,79
7. týden	6,21	7,58	8,85
8. týden	6,34	7,62	8,92

Tab. 26 Základní vlastnosti vaječných tekutin slepičích vajec – hustota a sušina

Doba skladování	Hustota žloutek (g·cm <sup>-3</sup> )	Hustota melanz (g·cm <sup>-3</sup> )	Hustota bílek (g·cm <sup>-3</sup> )	Sušina žloutek (%)	Sušina melanz (%)	Sušina bílek (%)
1. týden	1,0293	1,0312	1,0389	49,60	24,91	12,53
2. týden	1,0299	1,0348	1,0378	51,64	23,30	11,79
3. týden	1,0343	1,0236	1,0380	50,91	24,17	11,69
4. týden	1,0248	1,0305	1,0379	50,84	25,29	11,63
5. týden	1,0295	1,0347	1,0385	50,83	26,41	12,19
6. týden	1,0263	1,0346	1,0389	50,59	25,97	12,26
7. týden	1,0162	1,0212	1,0418	50,30	24,84	12,21
8. týden	1,0220	1,0346	1,0390	49,58	26,12	12,30

Z uvedených hodnot je patrné, že hodnota pH s dobou skladování roste, což je důsledek uvolňování oxidu uhličitého z bílku. pH žloutku se při skladování nemění tolik jako pH bílku. Zvyšování pH souvisí se zvyšováním koncentrace amoniaku uvolňovaného z bílkovin v průběhu stárnutí vajec. Úbytky hmotnosti vajec jsou uvedeny v Tab. 27.

Tab. 27 Úbytek hmotnosti slepičích vajec (g) v průběhu skladování

Doba skladování	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	0,04	0,09	0,18	0,04
2. týden	0,01	0,32	0,66	0,23
3. týden	0,33	0,66	2,01	0,35
4. týden	0,45	0,83	1,75	0,28
5. týden	0,64	1,12	1,78	0,33
6. týden	0,90	1,52	2,73	0,45
7. týden	0,97	1,62	2,51	0,37
8. týden	1,28	2,01	3,81	0,59

Je zřejmé, že úbytek hmotnosti, který souvisí s odpařováním vody, je monotónní funkcí doby skladování. Tento úbytek narůstá s dobou skladování. Geometrie bílku je popsána v Tab. 28.

Tab. 28 Geometrie bílku slepičích vajec

Doba skladování		Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	Šířka bílku (mm)	67,85	77,15	97,53	7,89
2. týden		58,61	75,71	87,04	7,15
3. týden		65,74	79,87	101,90	8,58
4. týden		66,66	76,05	89,72	6,35
5. týden		64,98	77,07	89,96	6,08
6. týden		66,87	80,80	93,58	7,07
7. týden		71,52	79,76	95,74	7,11
8. týden		72,44	82,16	102,87	8,58
1. týden	Délka bílku (mm)	74,94	85,88	110,83	10,32
2. týden		70,25	85,54	96,99	7,47
3. týden		75,57	94,22	122,73	11,07
4. týden		77,57	92,43	114,18	8,31
5. týden		11,80	84,67	103,68	17,66
6. týden		81,95	93,85	112,14	8,86
7. týden		73,09	91,76	130,27	12,11
8. týden		70,94	92,11	111,96	9,45
1. týden	Výška bílku (mm)	3,74	6,01 <sup>a,b</sup>	8,12	1,11
2. týden		4,75	7,02 <sup>a</sup>	8,89	1,11
3. týden		4,11	5,60 <sup>b,c</sup>	7,45	0,84
4. týden		3,34	5,38 <sup>b,c</sup>	7,34	0,99
5. týden		1,44	5,13 <sup>c</sup>	8,37	1,50
6. týden		2,14	4,71 <sup>c</sup>	6,70	0,98
7. týden		3,14	5,01 <sup>c</sup>	6,70	0,84
8. týden		2,15	4,83 <sup>c</sup>	6,34	1,11
1. týden	Haughovy jednotky	54,14	76,06 <sup>a,b</sup>	89,36	8,55
2. týden		66,55	82,99 <sup>a</sup>	94,27	7,39
3. týden		60,13	73,48 <sup>b,c</sup>	87,86	7,05
4. týden		49,84	71,73 <sup>b,c</sup>	85,14	9,03
5. týden		17,60	67,99 <sup>c</sup>	92,41	15,08
6. týden		37,82	65,47 <sup>c</sup>	82,04	9,41
7. týden		46,47	68,46 <sup>c</sup>	81,11	7,92
8. týden		36,25	66,58 <sup>c</sup>	81,98	11,42
1. týden	Index bílku (%)	3,59	7,56 <sup>a</sup>	10,70	1,94
2. týden		5,35	8,83 <sup>a</sup>	13,06	1,94
3. týden		4,56	6,52 <sup>b</sup>	9,87	1,33
4. týden		3,51	6,46 <sup>b</sup>	9,44	1,48
5. týden		2,83	6,35 <sup>b</sup>	10,88	1,96
6. týden		2,68	6,35 <sup>b</sup>	8,71	1,34
7. týden		3,52	5,92 <sup>b</sup>	8,32	1,26
8. týden		2,47	5,65 <sup>b</sup>	8,32	1,63

a, b, c – rozdílné indexy ve sloupci pro jednotlivé veličiny označují statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ )

Index bílku klesá s dobou skladování, což je důsledek řidnutí hustého bílku. Vrstva hustého bílku se totiž ztenčuje a dochází k jeho rozlévání do strany. Je zřejmé, že Haughovy jednotky klesají s dobou skladování, což souvisí se změnou rozměru bílku (pokles výšky a roztékání do stran). Na druhé straně však doba skladování příliš

neovlivňuje vlastnosti žloutku, což dokládá přehled v Tab. 29. Tento trend je patrný např. pro index žloutku.

Tab. 29 Vlastnosti žloutku slepičích vajec

Týden skladování		Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	Průměr žloutku (mm)	32,79	39,00 <sup>a</sup>	42,79	2,71
2. týden		38,31	41,36 <sup>b</sup>	45,02	1,86
3. týden		39,04	41,23 <sup>b</sup>	45,74	2,11
4. týden		38,54	40,76 <sup>a,b</sup>	43,42	1,37
5. týden		37,98	40,74 <sup>a,b</sup>	42,31	1,28
6. týden		33,33	41,71 <sup>b</sup>	45,68	2,98
7. týden		38,34	40,52 <sup>a,b</sup>	44,43	1,55
8. týden		37,33	41,36 <sup>b</sup>	44,25	1,98
1. týden	Výška žloutku (mm)	16,96	18,55 <sup>a,b</sup>	21,06	1,03
2. týden		17,41	18,69 <sup>a,b</sup>	20,35	0,72
3. týden		17,41	19,16 <sup>b</sup>	20,37	0,83
4. týden		17,19	18,92 <sup>a,b</sup>	20,39	0,97
5. týden		17,21	18,69 <sup>a,b</sup>	20,11	0,80
6. týden		16,04	17,83 <sup>a</sup>	18,92	0,73
7. týden		17,17	18,51 <sup>a,b</sup>	19,80	0,77
8. týden		17,33	18,74 <sup>a,b</sup>	21,40	0,96
1. týden	Index žloutku (%)	40,71	47,78 <sup>a</sup>	56,34	4,38
2. týden		41,61	45,27 <sup>a,b</sup>	51,64	2,51
3. týden		41,65	46,56 <sup>a,b</sup>	49,93	2,79
4. týden		41,53	46,47 <sup>a,b</sup>	51,90	2,80
5. týden		42,09	45,91 <sup>a,b</sup>	51,34	2,61
6. týden		39,35	42,97 <sup>b</sup>	54,73	3,89
7. týden		43,29	45,72 <sup>a,b</sup>	49,80	1,95
8. týden		41,63	45,43 <sup>a,b</sup>	57,33	3,91
1. týden	Hmotnost žloutku (g)	13,68	15,58	19,80	1,31
2. týden		13,65	15,34	17,56	1,19
3. týden		14,01	15,47	17,13	0,96
4. týden		13,26	15,83	19,13	1,65
5. týden		14,13	15,91	17,84	0,92
6. týden		14,01	16,52	18,60	1,47
7. týden		14,19	15,77	16,89	0,74
8. týden		12,86	15,83	19,01	1,47

a, b – rozdílné indexy ve sloupci pro jednotlivé veličiny označují statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ )

### 5.2.1.2 Vaječné tekutiny křepelčích vajec

Nejvíce prací o vlivu doby skladování aj. faktorů na kvalitu vajec byla z pochopitelných důvodů věnována slepičím vejcím. Poněkud méně prací bylo realizováno pro křepelčí vejce. Z tohoto důvodu jsou získaná data poměrně cenná pro popis vlivu skladování na vlastnosti vajec. Nejprve byly stanoveny základní údaje o vaječných tekutinách. Jejich hodnoty jsou obsahem Tab. 30 a Tab. 31.

Tab. 30 Základní vlastnosti vaječných tekutin křepelčích vajec – pH

Doba skladování	pH žloutek	pH melanž	pH bílek
1. týden	6,53	7,10	9,23
2. týden	6,19	7,58	9,12
3. týden	6,18	7,59	9,15
4. týden	6,33	7,70	9,17
6. týden	6,49	7,64	9,15
8. týden	6,54	7,79	9,11
10. týden	6,70	7,92	9,16
12. týden	6,71	7,99	9,03
14. týden	6,84	7,73	9,09
16. týden	6,86	7,89	9,11

Tab. 31 Základní vlastnosti vaječných tekutin křepelčích vajec – hustota a sušina

Doba skladování	Hustota žloutek (g·cm <sup>-3</sup> )	Hustota melanž (g·cm <sup>-3</sup> )	Hustota bílek (g·cm <sup>-3</sup> )	Sušina žloutek (%)	Sušina melanž (%)	Sušina bílek (%)
1. týden	1,0233	1,0334	1,0385	51,26	29,99	12,49
2. týden	1,0164	1,0338	1,0417	50,60	27,22	13,33
3. týden	1,0159	1,0349	1,0422	50,88	27,74	13,43
4. týden	1,0169	1,0352	1,0419	50,94	26,81	13,22
6. týden	1,0191	1,0335	1,0412	50,05	27,01	13,31
8. týden	1,0168	1,0325	1,0429	49,56	27,02	13,58
10. týden	1,0176	1,0341	1,0438	49,14	28,43	13,87
12. týden	1,0165	1,0329	1,0435	48,24	27,31	14,04
14. týden	1,0130	1,0360	1,0469	47,74	28,67	14,72
16. týden	1,0128	1,0309	1,0417	48,51	28,61	14,92

Je zřejmé, že na rozdíl od slepičích vajec není pH jednoznačnou funkcí doby skladování. Velikost úbytku hmotnosti je uvedena v Tab. 32. Je zřejmé, že se úbytek hmotnosti zvyšuje s dobou skladování.

Tab. 32 Úbytek hmotnosti křepelčích vajec (g) v průběhu skladování

Doba skladování	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	0,01	0,03	0,08	0,02
2. týden	0,01	0,08	0,17	0,30
3. týden	0,01	0,13	0,93	0,12
4. týden	0,10	0,20	0,57	0,09
6. týden	0,13	0,25	0,68	0,11
8. týden	0,16	0,34	1,28	0,20
10. týden	0,19	0,46	2,01	0,28
12. týden	0,30	0,57	1,70	0,26
14. týden	0,29	0,60	1,44	0,20
16. týden	0,35	0,77	2,06	0,33

Dále byly stanoveny geometrické charakteristiky bílku, Haughovy jednotky a index bílku. Výsledky jsou obsaženy v Tab. 33.

Tab. 33 Geometrie bílku křepelčích vajec v (mm)

Týden skladování		Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	Šířka bílku (mm)	27,49	32,25 <sup>a</sup>	39,30	2,82
2. týden		27,12	32,81 <sup>a</sup>	40,79	2,98
3. týden		22,08	32,22 <sup>a</sup>	40,67	3,56
4. týden		25,48	30,58 <sup>a,b</sup>	37,86	3,36
6. týden		23,12	28,66 <sup>b,c</sup>	32,52	2,16
8. týden		25,21	29,24 <sup>b,c</sup>	36,91	2,13
10. týden		25,47	30,67 <sup>a,b</sup>	43,47	3,78
12. týden		25,55	31,31 <sup>a,b</sup>	44,11	3,57
14. týden		25,53	30,36 <sup>a,b</sup>	35,45	2,14
16. týden		26,23	30,53 <sup>a,b</sup>	36,55	2,52
1. týden	Délka bílku (mm)	32,66	41,28 <sup>a</sup>	53,31	4,31
2. týden		33,96	40,48 <sup>a</sup>	45,91	3,16
3. týden		30,00	40,02 <sup>a,b</sup>	47,64	4,32
4. týden		32,55	40,27 <sup>a,b</sup>	46,49	3,54
6. týden		31,54	37,00 <sup>b</sup>	41,47	2,35
8. týden		32,67	40,09 <sup>a,b</sup>	50,23	2,28
10. týden		34,96	40,97 <sup>a</sup>	60,08	4,67
12. týden		35,32	40,48 <sup>a</sup>	65,06	5,35
14. týden		31,54	39,14 <sup>a,b</sup>	44,49	2,85
16. týden		33,98	39,09 <sup>a,b</sup>	47,07	3,26
1. týden	Výška bílku (mm)	2,34	4,74 <sup>a</sup>	6,50	0,93
2. týden		3,10	4,73 <sup>a</sup>	6,38	0,81
3. týden		2,80	4,72 <sup>a</sup>	7,36	1,05
4. týden		2,11	3,49 <sup>b</sup>	5,90	0,89
6. týden		3,10	4,15 <sup>a</sup>	5,33	0,64
8. týden		2,00	3,98 <sup>a,b</sup>	5,45	0,54
10. týden		2,06	2,93 <sup>b,c</sup>	3,73	0,52
12. týden		1,13	2,57 <sup>c</sup>	3,60	0,85
14. týden		1,02	2,35 <sup>c</sup>	4,36	0,90
16. týden		1,16	2,85 <sup>b,c</sup>	4,48	0,86
1. týden	Haughovy jednotky	77,11	90,64 <sup>a</sup>	100,81	5,12
2. týden		79,85	90,87 <sup>a</sup>	103,92	5,22
3. týden		75,98	85,82 <sup>a,b</sup>	97,44	5,43
4. týden		76,46	87,20 <sup>a</sup>	94,71	4,24
6. týden		74,75	83,03 <sup>b</sup>	89,42	3,98
8. týden		69,46	81,52 <sup>b</sup>	92,81	4,51
10. týden		67,42	80,38 <sup>c</sup>	89,35	6,39
12. týden		64,54	78,30 <sup>c</sup>	86,25	5,69
14. týden		61,41	76,40 <sup>c,d</sup>	89,34	7,45
16. týden		73,39	74,30 <sup>d</sup>	87,91	6,01
1. týden	Index bílku (%)	6,51	12,93 <sup>a</sup>	20,12	3,22
2. týden		7,76	13,01 <sup>a</sup>	17,80	2,42
3. týden		7,99	13,20 <sup>a</sup>	23,23	3,37
4. týden		5,69	9,92 <sup>b</sup>	17,25	2,65
6. týden		8,88	12,67 <sup>a</sup>	17,34	2,07
8. týden		5,17	9,55 <sup>b</sup>	15,24	2,38
10. týden		3,99	8,37 <sup>b,c</sup>	10,70	1,70
12. týden		3,36	8,19 <sup>b,c</sup>	12,50	2,42
14. týden		2,65	7,24 <sup>c</sup>	10,48	2,50
16. týden		2,73	6,80 <sup>c</sup>	11,88	2,62

a, b, c, d – rozdílné indexy ve sloupci pro jednotlivé veličiny značí statisticky průkazný rozdíl (P &lt; 0,05)

Je zřejmé, že s dobou skladování klesá jak hodnota Haughových jednotek, tak index bílku. Vlastnosti žloutku jsou uvedeny v Tab. 34.

Tab. 34 Vlastnosti žloutku křepelčích vajec

Týden skladování		Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	Průměr žloutku (mm)	22,15	25,23 <sup>a</sup>	28,44	1,63
2. týden		22,83	24,56 <sup>a,b</sup>	26,26	1,11
3. týden		21,55	23,86 <sup>b</sup>	27,87	1,52
4. týden		22,71	25,94 <sup>a</sup>	28,52	1,54
6. týden		24,92	25,91 <sup>a</sup>	26,93	0,88
8. týden		22,06	24,83 <sup>a,b</sup>	27,29	1,47
10. týden		21,77	23,84 <sup>b</sup>	25,64	1,18
12. týden		22,59	25,86 <sup>a</sup>	27,71	1,76
14. týden		22,75	24,84 <sup>a,b</sup>	28,37	1,20
16. týden		23,53	25,06 <sup>a</sup>	28,83	1,44
1. týden	Výška žloutku (mm)	10,20	11,31 <sup>a</sup>	13,40	0,66
2. týden		10,00	11,61 <sup>a</sup>	12,90	0,84
3. týden		10,12	11,25 <sup>a</sup>	12,94	0,69
4. týden		10,01	11,42 <sup>a</sup>	13,24	0,72
6. týden		11,14	12,09 <sup>b</sup>	13,38	0,91
8. týden		10,80	12,06 <sup>b</sup>	13,40	0,65
10. týden		10,17	11,77 <sup>a,b</sup>	13,12	0,78
12. týden		10,31	11,51 <sup>a</sup>	12,61	0,87
14. týden		10,29	11,19 <sup>a</sup>	12,36	0,58
16. týden		10,18	11,38 <sup>a</sup>	12,45	0,75
1. týden	Index žloutku (%)	39,36	48,77 <sup>a,b</sup>	59,81	4,25
2. týden		41,34	47,55 <sup>a,b</sup>	57,59	3,97
3. týden		39,88	49,54 <sup>a,b</sup>	60,10	5,02
4. týden		39,96	46,89 <sup>b,c</sup>	53,48	3,46
6. týden		44,86	50,42 <sup>a</sup>	55,76	2,92
8. týden		40,72	45,28 <sup>c</sup>	49,56	2,24
10. týden		38,82	44,99 <sup>c</sup>	52,10	3,89
12. týden		40,13	47,07 <sup>a,b</sup>	52,43	2,77
14. týden		40,57	44,66 <sup>c</sup>	47,58	2,35
16. týden		41,21	44,59 <sup>c</sup>	48,82	2,32
1. týden	Hmotnost žloutku (g)	2,36	3,09 <sup>a</sup>	4,01	0,42
2. týden		2,74	3,69 <sup>b</sup>	4,73	0,55
3. týden		2,29	3,18 <sup>a</sup>	3,95	0,42
4. týden		2,21	3,37 <sup>a</sup>	10,87	1,71
6. týden		2,53	3,43 <sup>a,b</sup>	4,40	0,49
8. týden		2,74	3,54 <sup>b</sup>	5,48	0,57
10. týden		2,51	3,42 <sup>a,b</sup>	4,36	0,46
12. týden		2,40	3,47 <sup>a,b</sup>	4,56	0,61
14. týden		2,82	3,76 <sup>b</sup>	4,75	0,62
16. týden		2,84	3,53 <sup>b</sup>	5,22	0,60

a, b, c – rozdílné indexy ve sloupci pro jednotlivé veličiny označují statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ )

Tvar žloutku závisí na elasticitě a pevnosti žloutkové blány, která se postupně se stárnutím vejce snižuje. Žloutek starého vejce je proto nižší a zaujímá větší plochu. Tyto změny popisuje index žloutku, který s dobou skladování klesá.

### 5.2.1.3 Vaječné tekutiny husích vajec

Husí vejce byla skladována po dobu 8. týdnů a jejich vlastnosti byly hodnoceny v 1., 2., 3., 4., 6. a 8. týdnu skladování. Ve srovnání se slepičími a křepelčími vejci byl sledován menší počet vajec. V Tab. 35 a Tab. 36 jsou uvedeny základní vlastnosti tekutin husích vajec.

Tab. 35 Základní vlastnosti vaječných tekutin husích vajec – pH

Doba skladování	pH žloutek	pH melanž	pH bílek
1. týden	6,03	7,17	8,32
2. týden	6,03	6,99	8,92
3. týden	6,08	7,18	8,86
4. týden	6,17	7,31	8,93
6. týden	6,08	7,08	9,01
8. týden	6,25	7,46	9,22

Tab. 36 Základní vlastnosti vaječných tekutin husích vajec – hustota a sušina

Doba skladování	Hustota žloutek (g·cm <sup>-3</sup> )	Hustota melanž (g·cm <sup>-3</sup> )	Hustota bílek (g·cm <sup>-3</sup> )	Sušina žloutek (%)	Sušina melanž (%)	Sušina bílek (%)
1. týden	1,0319	1,0338	1,0355	54,73	28,74	11,28
2. týden	1,0323	1,0337	1,0389	55,36	32,25	12,43
3. týden	1,0227	1,0319	1,0384	53,9	30,2	11,89
4. týden	1,0227	1,0338	1,0391	55,23	30,87	12,07
6. týden	1,0108	1,0325	1,0399	54,95	30,06	12,38
8. týden	1,0019	1,0309	1,0365	54,61	29,62	12,84

Uvedené hodnoty souhlasí s údaji o husích vejcích publikovaných např. v Mazanowski a Dziadek (2003). Úbytek hmotnosti je obsahem Tab. 37.

Tab. 37 Úbytek hmotnosti husích vajec (g) v průběhu skladování

Doba skladování	Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	0,50	0,58	0,64	0,05
2. týden	0,99	1,32	1,69	0,28
3. týden	1,30	1,95	3,10	0,68
4. týden	2,44	2,93	3,76	0,41
6. týden	3,96	5,17	8,01	1,47
8. týden	4,92	6,87	10,86	2,04



Je zřejmé, že úbytek hmotnosti poměrně výrazně roste s dobou skladování. Vývoj vlastností bílku v závislosti na době skladování je uveden v Tab. 38.

Tab. 38 Geometrie bílku husích vajec

<b>Týden skladování</b>		<b>Minimum</b>	<b>Průměr</b>	<b>Maximum</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>	
1. týden	Šířka bílku (mm)	80,24	86,15	96,91	6,53	
2. týden		77,80	85,63	93,36	5,53	
3. týden		70,78	79,23	90,61	8,05	
4. týden		78,95	92,40	99,70	10,08	
6. týden		71,79	82,93	90,46	7,85	
8. týden		77,98	92,02	110,95	15,19	
1. týden		Délka bílku (mm)	127,47	131,07	141,14	5,76
2. týden			120,37	150,22	162,51	18,16
3. týden	102,49		125,88	146,36	16,56	
4. týden	138,78		148,49	163,03	9,15	
6. týden	128,94		133,13	135,85	2,58	
8. týden	128,78		145,87	162,27	14,95	
1. týden	Výška bílku (mm)		7,75	9,64	11,65	1,51
2. týden			4,33	7,38	10,26	2,47
3. týden		4,40	6,45	8,21	1,55	
4. týden		4,45	7,75	9,40	2,02	
6. týden		8,33	8,89	9,35	0,51	
8. týden		3,35	6,78	8,46	2,13	
1. týden		Haughovy jednotky	57,40	73,18	85,88	10,84
2. týden			11,09	51,73	76,67	25,27
3. týden	4,71		41,65	61,86	22,47	
4. týden	32,93		56,16	68,89	14,88	
6. týden	54,99		65,02	73,24	6,67	
8. týden	19,68		55,09	64,87	19,81	
1. týden	Index bílku (%)		7,43	8,88	10,79	1,38
2. týden			4,42	7,15	10,00	2,10
3. týden		4,81	6,27	7,71	1,39	
4. týden		6,28	7,27	7,64	0,57	
6. týden		6,12	7,94	9,32	1,16	
8. týden		4,68	7,27	9,24	1,66	

Nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ ) u žádné veličiny uvedené v tabulce

Na rozdíl od slepičích a křepelčích vajec nejsou HU jednoznačnou funkcí doby skladování. Po počátečním poklesu mezi 1. až 3. týdnem dochází k nárůstu a k náznaku opětovného poklesu. Poměrně nevýraznou závislost na době skladování vykazují vlastnosti žloutků, jak je uvedeno v Tab. 39.

Tab. 39 Vlastnosti žloutků husích vajec

Týden skladování		Minimum	Průměr	Maximum	Směrodatná odchylka
1. týden	Průměr žloutku (mm)	64,80	68,53	74,10	3,50
2. týden		67,30	71,93	74,54	3,15
3. týden		67,03	70,43	75,38	3,20
4. týden		68,11	70,62	73,25	2,53
6. týden		66,92	71,70	76,78	3,62
8. týden		64,60	69,59	75,30	3,81
1. týden	Výška žloutku (mm)	22,61	24,06	26,00	1,55
2. týden		20,40	24,41	26,59	2,38
3. týden		22,17	23,91	26,59	1,83
4. týden		23,37	24,54	25,45	0,81
6. týden		23,80	25,36	26,68	1,03
8. týden		21,15	22,49	24,45	1,40
1. týden	Index žloutku (%)	30,51	35,21	38,26	3,25
2. týden		29,11	33,98	39,51	3,77
3. týden		31,19	33,94	35,53	1,81
4. týden		33,19	34,76	35,81	1,10
6. týden		33,38	35,42	38,00	1,79
8. týden		29,63	32,36	35,17	2,19
1. týden	Hmotnost žloutku (g)	53,54	61,05	65,68	4,92
2. týden		65,92	69,73	71,90	2,53
3. týden		57,78	63,56	80,02	9,25
4. týden		63,76	66,93	69,61	2,13
6. týden		57,87	70,49	85,13	9,78
8. týden		61,30	63,55	66,13	1,78

Nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ ) u žádné veličiny uvedené v tabulce

V následující kapitole je prezentováno srovnání vlastností vaječných tekutin slepičích, křepelčích a husích vajec.

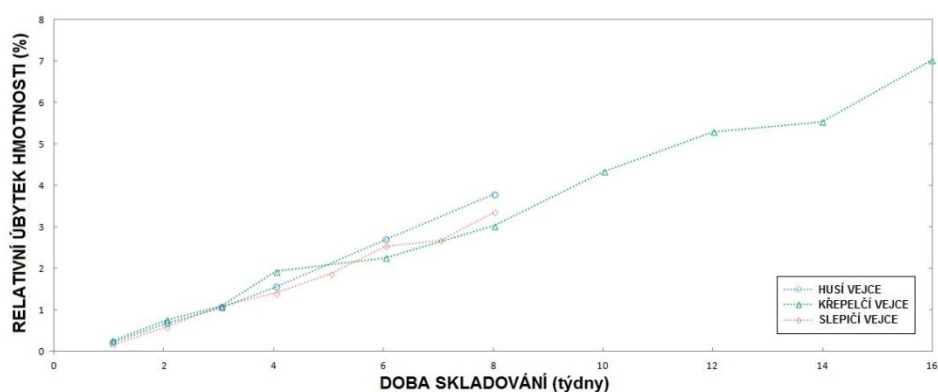
#### 5.2.1.4 Shrnutí výsledků o základních vlastnostech vaječných tekutin

Úbytek hmotnosti lze popsat pomocí relativního úbytku hmotnosti:

$$\Delta m = \frac{m_o - m_l}{m_o} \cdot 100 \quad (\%),$$

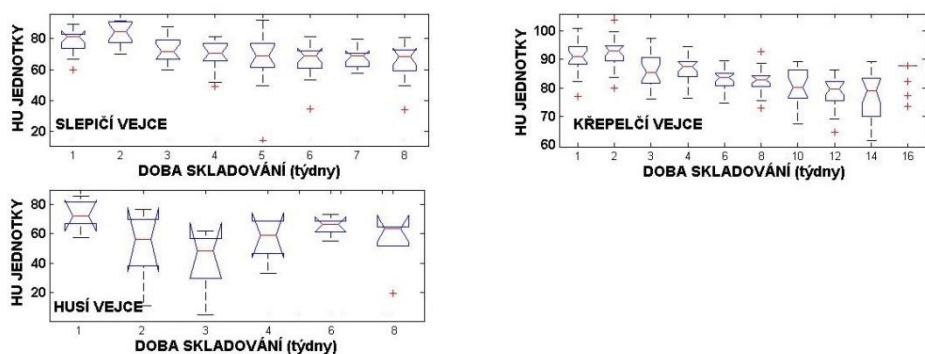
kde  $m_o$  je počáteční hmotnost a  $m_l$  hmotnost po určité době skladování.

Na Obr. 44 jsou vyneseny hodnoty relativního úbytku hmotnosti vajec v průběhu skladování.

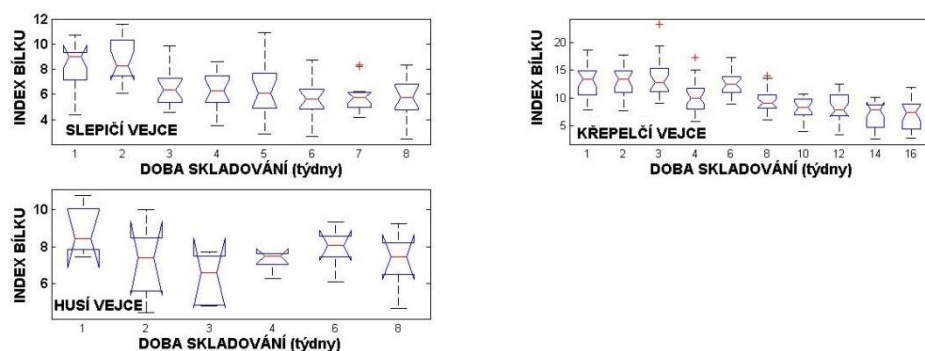


Obr. 44 Relativní úbytek hmotnosti vajec v průběhu skladování

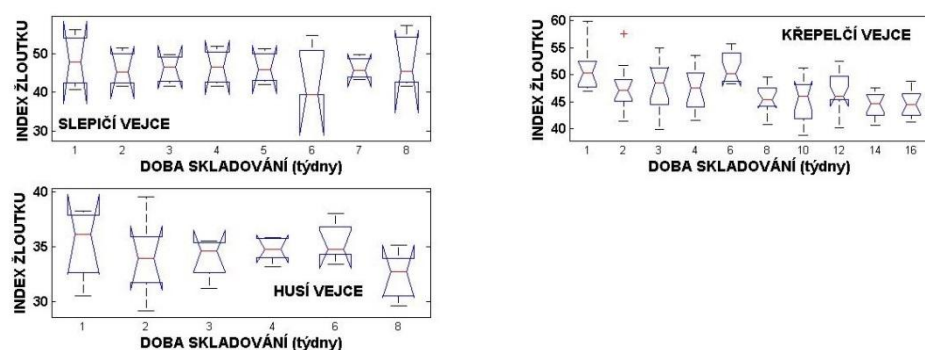
Pro všechny sledované druhy vajec se zvyšuje relativní úbytek hmotnosti s dobou skladování. Až do 3. týdne skladování vykazují vejce podobný relativní úbytek hmotnosti. V 8. týdnu skladování, ve kterém byly sledovány ještě všechny druhy vajec, bylo nejvyššího relativního úbytku hmotnosti dosaženo u husích vajec, nejnižšího u vajec křepelčích. Od 8. týdne skladování, kdy byly dále sledovány jen vejce křepelčí, docházelo stále ke zvyšování relativního úbytku hmotnosti s dobou skladování. Z dalších veličin jsou významné především Haughovy jednotky, index bílku a index žloutku. Tyto údaje jsou uvedeny na Obr. 45 – Obr. 47.



Obr. 45 Vliv doby skladování na Haughovy jednotky



Obr. 46 Vliv doby skladování na index bílku



Obr. 47 Vliv doby skladování na index žloutku

Nejvýraznější změny jsou patrné u slepičích a křepelčích vajec. U husích vajec nejsou změny příliš výrazné. Jak již bylo uvedeno, veličiny vynesené na Obr. 45 – Obr. 47 závisí na tokových vlastnostech vaječných tekutin. Tyto vlastnosti byly stanoveny pomocí rotačního viskozimetru.

### 5.3 Tokové vlastnosti vaječných tekutin

Pro experimentální výzkum byly připraveny vzorky vaječných tekutin (žloutek, bílek a melanž) způsobem uvedeným v kapitole 4.2.2, a to v objemu 30 ml a následně byly homogenizovány. Měření bylo provedeno na rotačním viskozimetru Anton Paar DV-3P, který měří krouticí moment rotujícího vřetena ponořeného do vzorku. Tento přístroj byl popsán v kapitole 4.2.3. Byl zvolen následující postup:

- Stanovení tokových křivek, tzn. závislost smykového napětí  $\tau$  na rychlosti deformace  $\dot{\gamma}$ . Experimentálně stanovené body byly proloženy vhodnou

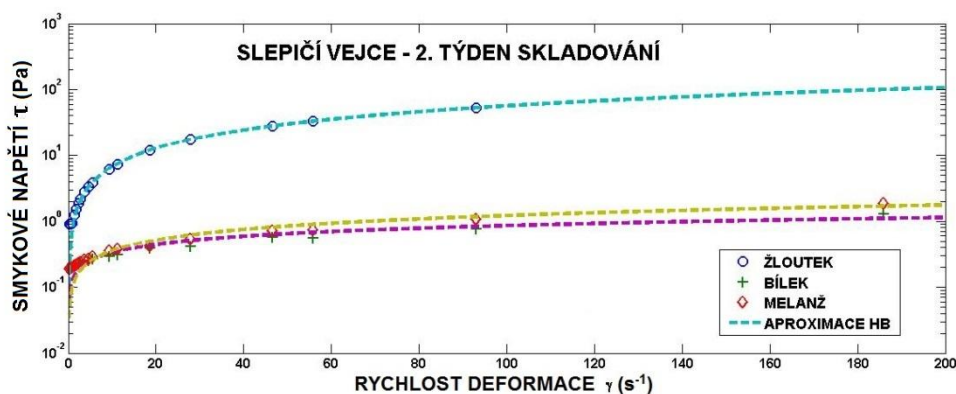
závislosti pomocí modulu Curve fitting v software MATLAB. Rozsah rychlostí deformace byl od 0,34 do cca 200 s<sup>-1</sup>.

- Měření časové závislosti zdánlivé viskozity pro konstantní hodnotu rychlosti deformace  $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ . Cílem těchto experimentů bylo ověření možných tixotropních vlastností vaječných tekutin.

Veškeré experimenty byly provedeny při teplotě místnosti 22 °C.

### 5.3.1 Tok vaječných tekutin slepičích vajec

Na Obr. 48 jsou vyneseny body ( $\tau$ ,  $\dot{\gamma}$ ) pro jednotlivé vaječné tekutiny.



Obr. 48 Závislost smykového napětí na rychlosti deformace pro tekutiny slepičích vajec

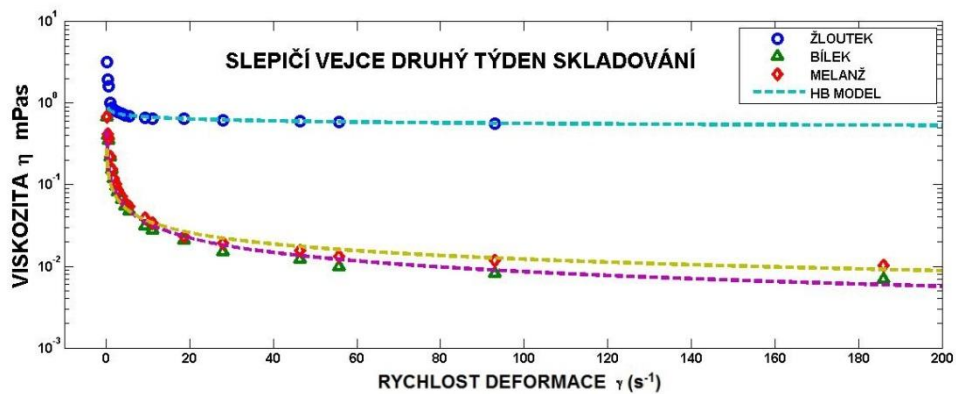
Odpor žloutku proti tečení je výrazně vyšší než pro zbývající dvě tekutiny, což je vcelku očekávaný výsledek. Ukazuje se, že experimentální body pro veškeré vaječné tekutiny je možné popsat pomocí Herschel-Bulkleyova modelu, viz kapitola 2., tzn.:

$$\tau = \tau_o + K\dot{\gamma}^n, \quad (14)$$

kde  $\tau_o$  je mez kluzu,  $K$  je součinitel konzistence a  $n$  je index toku. Pro zdánlivou viskozitu pak platí:

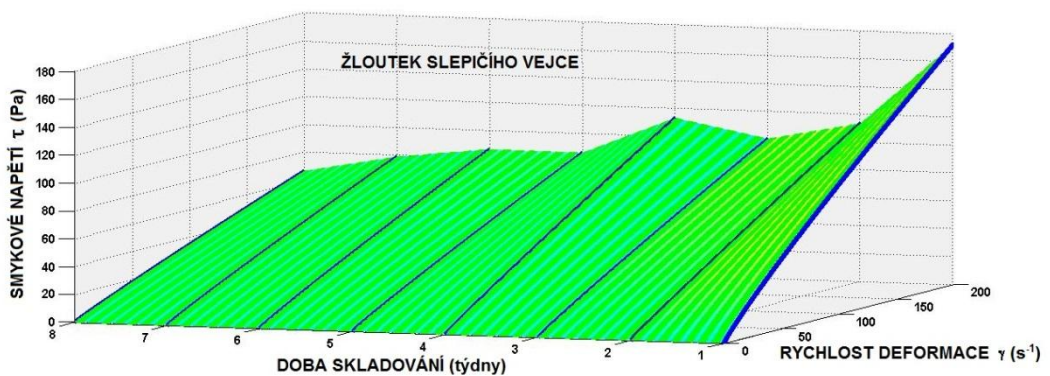
$$\eta = \frac{\tau_o}{\dot{\gamma}} + K\dot{\gamma}^{n-1}.$$

Průběh viskozity je vyneseno na Obr. 49.



Obr. 49 Vliv rychlosti deformace na zdánlivou viskozitu pro tekutiny slepičích vajec

Je zřejmé, že viskozita klesá s rychlostí deformace pro všechny sledované vaječné tekutiny. Vliv skladování na tokové křivky je zobrazen na Obr. 50, kde jsou vyneseny tokové křivky žloutku.



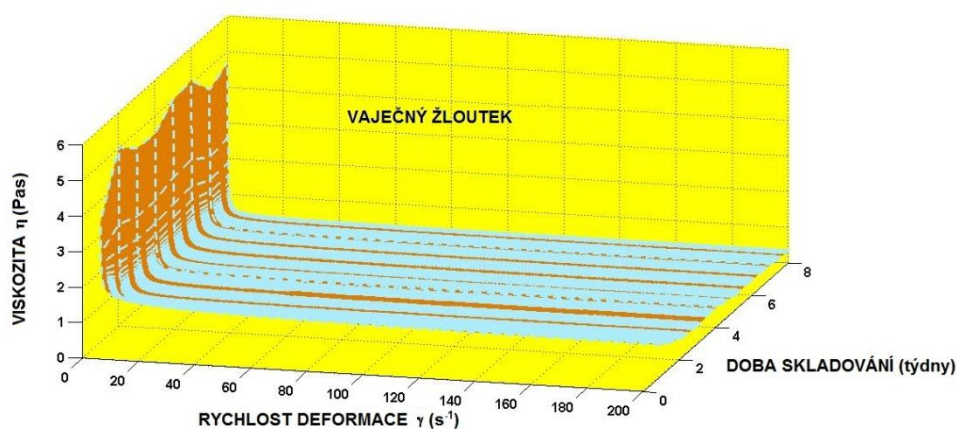
Obr. 50 Vliv doby skladování na tokové vlastnosti žloutku slepičích vajec

Kvalitativně shodné výsledky byly získány pro zbývající dvě vaječné tekutiny, a to pro bílek a melanz. Ve všech případech je možné dané křivky popsat pomocí Herschel-Bulkleyova modelu. Parametry rovnice (14) jsou uvedeny v Tab. 40.

Tab. 40 Parametry Herschel-Bulkleyova modelu pro vaječné tekutiny slepičích vajec

Doba skladování	Tekutina	$\tau_0$ (Pa)	K	n	R <sup>2</sup>
1. týden	Žloutek	0,1466	1,4990	0,8951	0,9999
	Bílek	0,2284	0,0577	0,6463	0,9828
	Melanž	0,2064	0,0327	0,7049	0,9791
2. týden	Žloutek	0,4278	0,6712	0,9667	0,9998
	Bílek	0,1729	0,0313	0,6373	0,9876
	Melanž	0,1683	0,0397	0,6704	0,9950
3. týden	Žloutek	0,3759	0,6748	0,9422	0,9999
	Bílek	0,2016	0,0160	0,7881	0,9781
	Melanž	0,2094	0,0161	0,8835	0,9827
4. týden	Žloutek	0,3708	0,7011	0,9578	0,9999
	Bílek	0,1088	0,0615	0,4966	0,9669
	Melanž	0,1922	0,0261	0,7917	0,9883
5. týden	Žloutek	0,4318	0,5905	0,9380	0,9999
	Bílek	0,1521	0,0397	0,6113	0,9908
	Melanž	0,2185	0,0193	0,8486	0,9889
6. týden	Žloutek	0,4371	0,6015	0,9353	0,9999
	Bílek	0,1276	0,0431	0,6027	0,9762
	Melanž	0,1409	0,0540	0,6854	0,9943
7. týden	Žloutek	0,3736	0,5397	0,9387	0,9999
	Bílek	0,1195	0,0426	0,5829	0,9789
	Melanž	0,1563	0,0376	0,6961	0,9929
8. týden	Žloutek	0,4166	0,4453	0,9423	0,9999
	Bílek	0,1888	0,0212	0,7112	0,9858
	Melanž	0,1822	0,0319	0,7655	0,9935

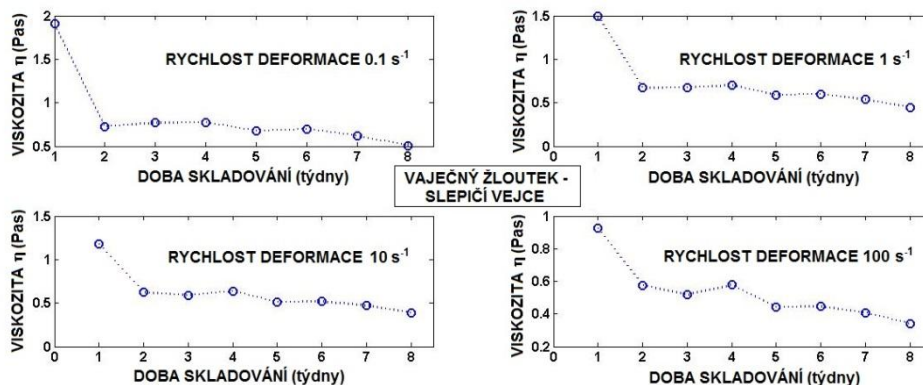
Je zřejmé, že v případě žloutku je  $n$  poměrně blízké jedné, tzn. že se chování žloutku blíží Binghamově tekutině, což je v podstatě newtonovská tekutina s nenulovou mezí kluzu. Bílek a melanž se od newtonovské tekutiny poměrně dost liší. Vliv doby skladování na hodnoty viskozity žloutku je ilustrován na Obr. 51.



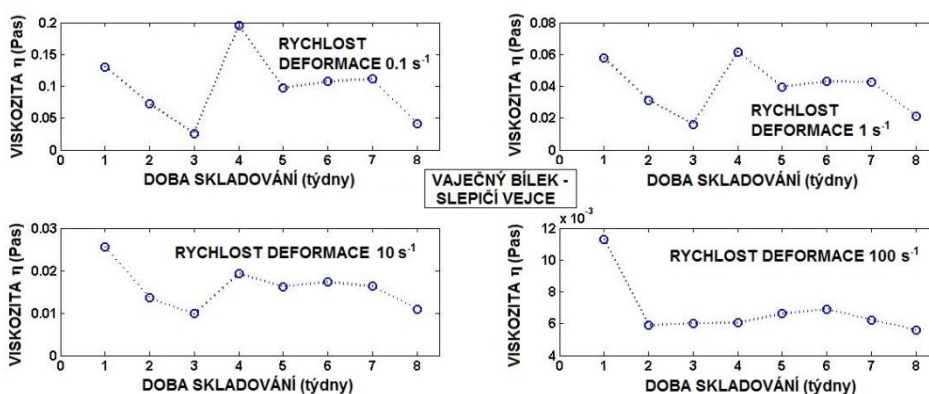
Obr. 51 Vývoj viskozity žloutku slepičích vajec s dobou skladování



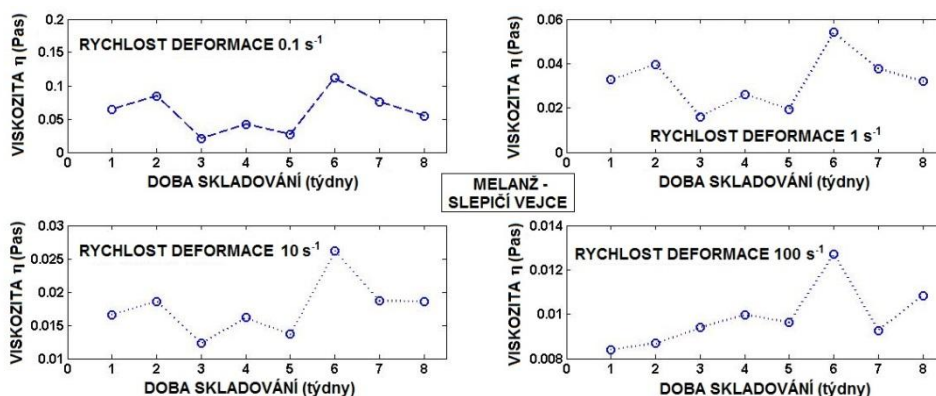
Je patrné, že viskozita výrazně klesá s rychlostí deformace, z toho důvodu je obtížné názorněji popsat vliv doby skladování. Proto byly použity hodnoty viskozity pro rychlosti deformace 0,1; 1; 10 a 100 s<sup>-1</sup>. Výsledky jsou uvedeny na Obr. 52 – Obr. 54.



Obr. 52 Vliv doby skladování na viskozitu žloutku slepičích vajec



Obr. 53 Vliv doby skladování na viskozitu bílku slepičích vajec

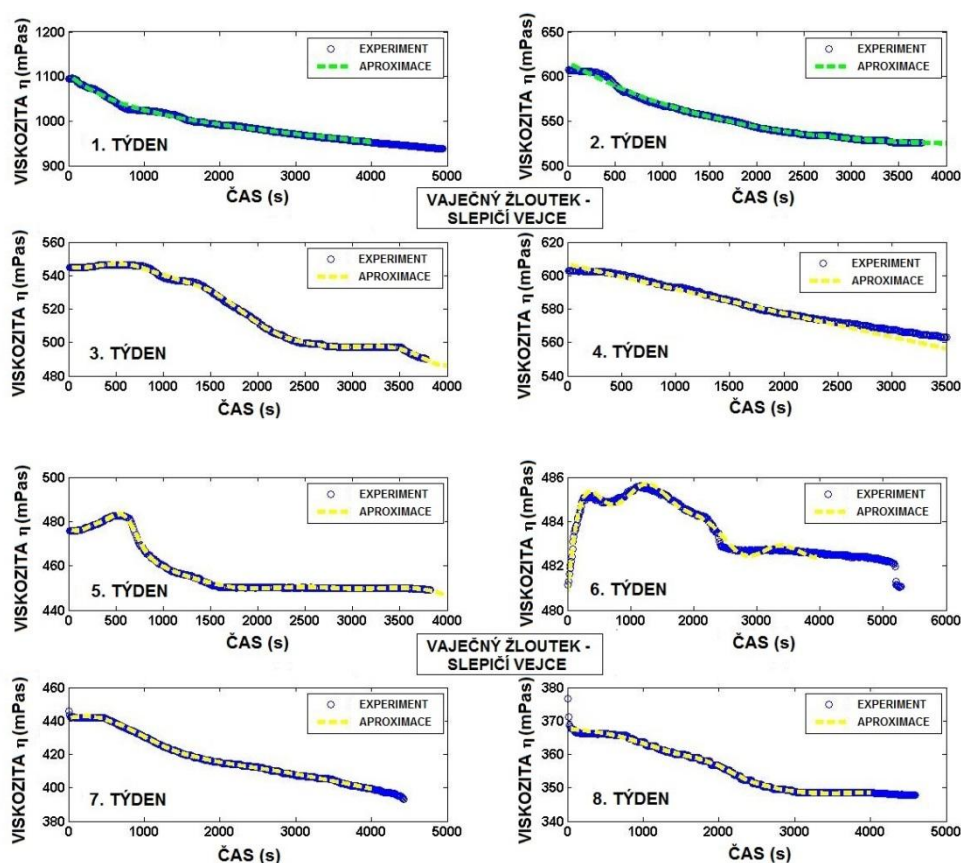


Obr. 54 Vliv doby skladování na viskozitu melanže slepičích vajec



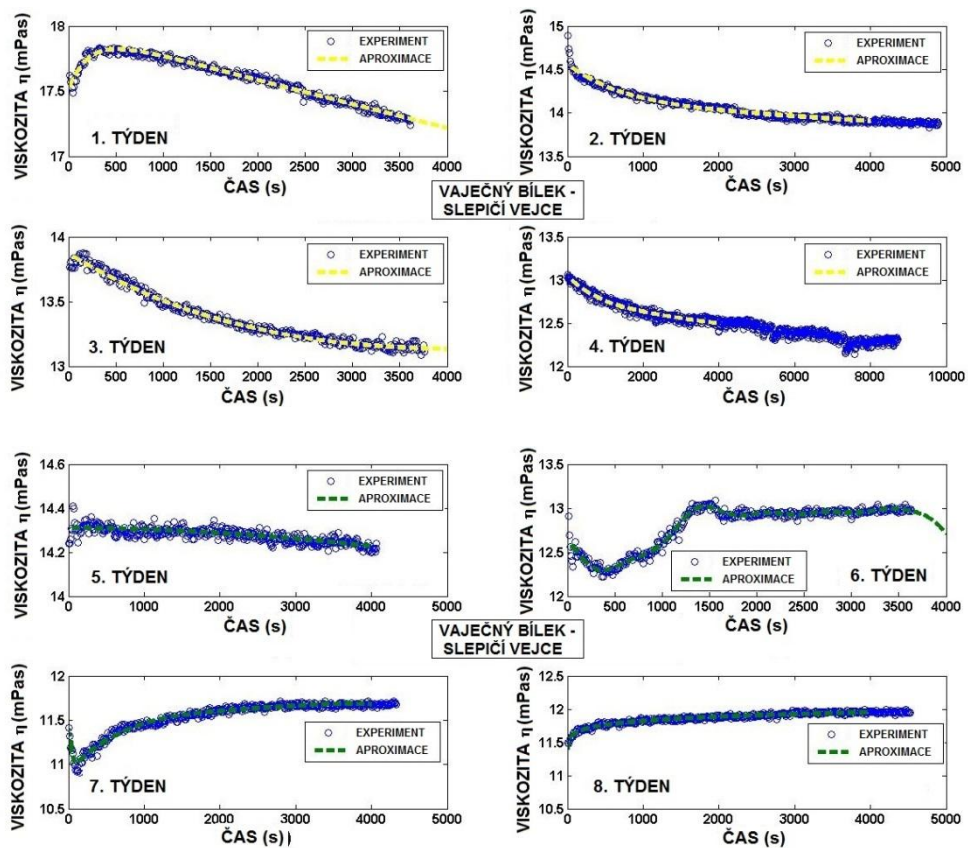
V případě žloutku viskozita klesá s dobou skladování. Vliv doby skladování na viskozitu bílku a melanže není jednoznačný a liší se pro různé hodnoty smykových rychlostí.

V další části byly stanoveny časové závislosti viskozity pro konstantní hodnotu rychlosti deformace  $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ . Výsledky pro žloutek jsou vyneseny na Obr. 55.



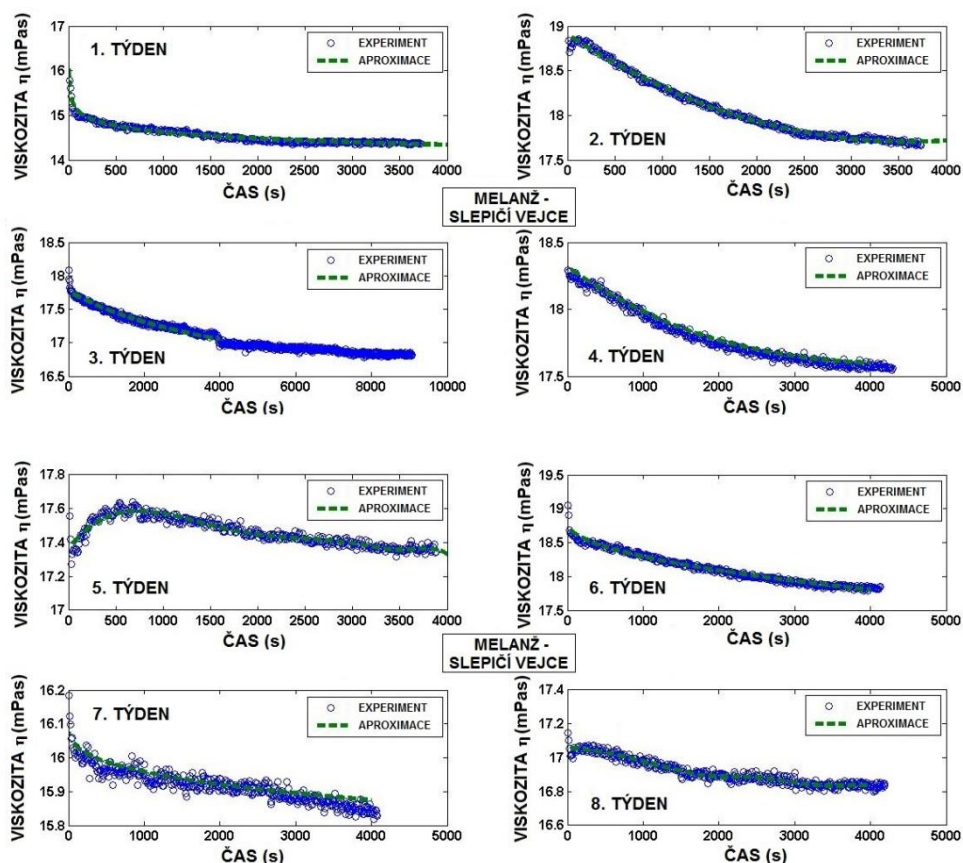
Obr. 55 Vývoj viskozity žloutku slepičích vajec s časem

Z výsledků vyplývá, že se viskozita žloutku s časem mění. S výjimkou 5. a 6. týdne skladování jde o pokles viskozity s časem, tzn. že žloutek vykazuje tixotropii. Časové závislosti viskozity bílku jsou vyneseny na Obr. 56.



Obr. 56 Vývoj viskozity bílku slepičích vajec s časem

Ve srovnání se žloutkem jsou změny viskozity bílku s časem podstatně nižší. Tixotropní chování lze pozorovat ve 2. a 4. týdnu. Na Obr. 57 jsou uvedeny časové závislosti melanže.



Obr. 57 Vývoj viskozity melanže slepičích vajec s časem

Z výsledků vyplývá, že změny viskozity jsou relativně velmi malé. Tixotropní chování lze pozorovat v 1., 3., 4., 6. a 7. týdnu skladování. Závislost viskozity jednotlivých vaječných tekutin na čase je popsána různými funkcemi uvedenými v následujícím přehledu, kde  $R^2$  označuje koeficient korelace.

### 5.3.1.1 Přehled časových závislostí viskozity žloutku slepičích vajec

- 1. a 2. týden:  $\eta = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$ .

Týden	a	b	c	d	$R^2$
1.	77,3	-0,001502	1026	-0,0000186	0,9963
2.	155,1	-0,000438	460,3	0,0000197	0,9937

- 3. týden:  $\eta = a_0 + \sum_{k=1}^{k=5} [a_k \cos(kwt) + b_k \sin(kwt)]$ .

$a_0$	$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	$a_3$	$b_3$
521,6165	28,9711	11,0065	4,6886	-5,3787	-3,6116	-8,1679

$a_4$	$b_4$	$a_5$	$b_5$	w	$R^2$
-4,7830	0,6648	-1,4341	1,9311	0,0011	0,9987

- 4. týden:  $\eta = a \exp(bt) + c \exp(dt)$ .

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
606,5	-0,00002472	0,1048	0,001198	0,995

- 5. týden:  $\eta = \sum_{k=1}^{k=5} a_k \exp \left[ - \left( \frac{t - b_k}{c_k} \right)^2 \right]$ .

<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
16,2481	567,7365	210,2576	667,0071	-18690	32216,54	40,2141	4018,151

<b>c<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>c<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>c<sub>5</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1283,686	4,6498	283,5649	154,4219	7,7085	2475,204	693,0944	0,9988

- 6. týden:  $\eta = a_0 + \sum_{k=1}^{k=5} [a_k \cos(kwt) + b_k \sin(kwt)]$ .

<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>
478,0307	-6,5277	8,0772	-0,6684	8,9580	3,6813	4,7802	3,9008

<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>a<sub>6</sub></b>	<b>b<sub>6</sub></b>	<b>a<sub>7</sub></b>	<b>b<sub>7</sub></b>	<b>w</b>
0,7532	1,8067	-0,8407	0,4523	-0,7069	0,1057	-0,1564	0,0009

<b>R<sup>2</sup></b>
0,9951

- 7. týden:  $\eta = \sum_{i=1}^{i=3} a_i \exp \left\{ - \left( \frac{t - b_i}{c_i} \right)^2 \right\}$ .

<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
22,7577	230,3986	939,8769	420,0115	-10,5075	17772,36	0,9991

- 8. týden:  $\eta = \sum_{i=1}^{i=3} a_i \exp \left\{ - \left( \frac{t - b_i}{c_i} \right)^2 \right\}$ .

<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
367,4663	-148,148	9531,626	72,6654	5560,038	2228,195	1,6513	1881,538

<b>c<sub>3</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
369,3542	0,9939

### 5.3.1.2 Přehled časových závislostí viskozity bílku slepičích vajec

- 1. až 4. týden:  $\eta = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$ .

Týden	a	b	c	d	R <sup>2</sup>
1.	17,960	-0,00001	-0,4508	-0,004696	0,9817
2.	0,449	-0,00139	14,11	-0,000003681	0,9698
3.	1,652	-0,00035	12,22	0,00001027	0,9842
4.	0,338	-0,00121	12,71	-0,000004266	0,9590

- 5. a 8. týden:  $\eta = a - bt^c$ .

Týden	a (mPas)	b	c	R <sup>2</sup>
5.	14,310	$2,104 \cdot 10^{-8}$	1,8310	0,9042
8.	10,691	-0,6565	0,0787	0,9494

- 6. týden:  $\eta = a_0 + \sum_{k=1}^{k=5} [a_k \cos(kwt) + b_k \sin(kwt)]$

a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>
12,7997	-0,1858	-0,1886	-0,0162	-0,1827	0,0409	-0,0489	-0,0150

b <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	b <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	b <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>	b <sub>7</sub>	w
-0,0078	-0,0042	-0,0308	0,0227	-0,0013	-0,0052	0,0067	0,0016

R <sup>2</sup>
0,9723

- 7. týden:  $\eta = \sum_{i=1}^{i=3} a_i \exp \left\{ - \left( \frac{t - b_i}{c_i} \right)^2 \right\}$ .

a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>
11,5793	4326,741	8144,971	0,5399	-11,7705	53,1895	2,2609	-435,178

c <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>
2586,369	0,9698

### 5.3.1.3 Přehled časových závislostí viskozity melanže slepičích vajec

- 1. týden:  $\eta = at^b$ .

a	b	R <sup>2</sup>
16,11	-0,01404	0,9607

- 2. až 4. týden:  $\eta = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$ .

Týden	a	b	c	d	R <sup>2</sup>
2.	10,240	-0,00013	8,666	0,00007384	0,9951
3.	1,119	-0,00027	16,640	0,0000005377	0,9847
4.	2,067	-0,00028	16,250	0,00001001	0,9912

- 5. týden:  $\eta = \sum_{k=1}^{k=\xi} a_k \exp \left[ - \left( \frac{t - b_k}{c_k} \right)^2 \right]$ .

a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>
6,36101	-960,341	2523,003	0,24055	4087,158	476,8751	17,03189	3618,643

c <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>
6015,97	0,9042

- 6. a 7. týden:  $\eta = a - bt^n$ .

Týden	a	b	n	R <sup>2</sup>
6.	18,8	0,0179	0,4845	0,9817
7.	16,1	0,0140	0,3350	0,8984

- 8. týden:  $\eta = \sum_{i=1}^{i=3} a_i \exp \left\{ - \left( \frac{t - b_i}{c_i} \right)^2 \right\}$ .

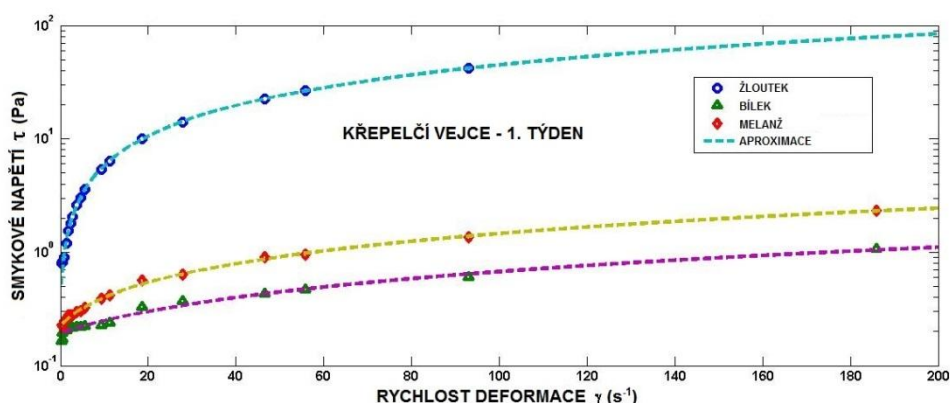
a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>
17,00233	-512,059	11622,39	3,735512	6390,891	3303,287	0,052868	2557,547

c <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>
633,0928	0,9447

### 5.3.2 Tok vaječných tekutin křepelčích vajec

Na Obr. 58 je uveden příklad experimentálního záznamu smykového napětí na rychlosti deformace pro vaječné tekutiny křepelčích vajec. Opět se ukazuje, že smykové napětí ve žloutku je pro všechny hodnoty rychlosti deformace výrazně vyšší než smyková napětí v bílku a melanži. Závislost smyková deformace – rychlost deformace lze opět popsat pomocí Herschel-Bulkleyova modelu, viz rovnice (14). Parametry tohoto modelu jsou pro jednotlivé vaječné tekutiny uvedeny v Tab. 41.



Obr. 58 Vliv rychlosti deformace na smykové napětí pro tekutiny křepelčích vajec

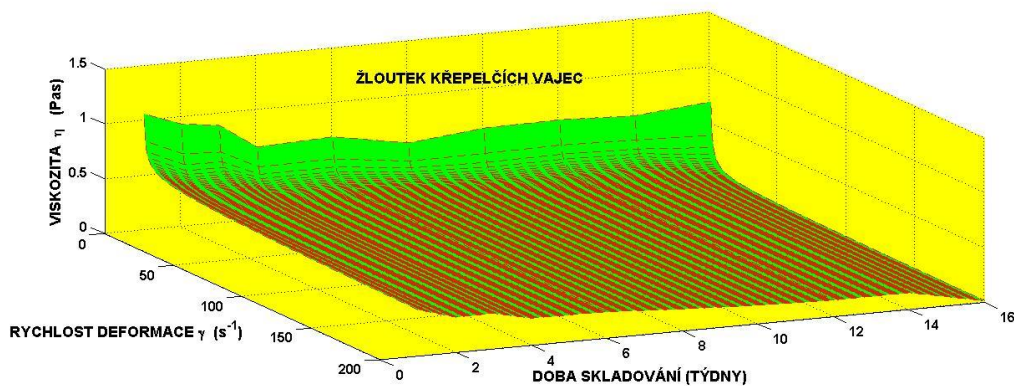
Tab. 41 Parametry Herschel-Bulkleyova modelu pro vaječné tekutiny křepelčích vajec

Doba skladování	Tekutina	$\tau_0$ (Pa)	K	n	R <sup>2</sup>
1. týden	Žloutek	0,4115	0,6533	0,9164	0,9999
	Bílek	0,1904	0,0070	0,9182	0,9923
	Melanž	0,2201	0,0256	0,8429	0,9988
2. týden	Žloutek	0,4942	0,4454	0,9378	0,9998
	Bílek	0,1589	0,0145	0,8122	0,9928
	Melanž	0,1921	0,0280	0,8187	0,9979
3. týden	Žloutek	0,4318	0,4628	0,9316	0,9999
	Bílek	0,1830	0,0164	0,7837	0,9952
	Melanž	0,1902	0,0333	0,8203	0,9992
4. týden	Žloutek	0,3214	0,3438	0,9373	0,9999
	Bílek	0,1047	0,0261	0,6798	0,9914
	Melanž	0,1557	0,0426	0,7450	0,9936
6. týden	Žloutek	0,3613	0,3316	0,9384	1,0000
	Bílek	0,1919	0,0156	0,7754	0,9939
	Melanž	0,2016	0,0271	0,8201	0,9981
8. týden	Žloutek	0,2963	0,2754	0,9393	0,9998
	Bílek	0,0671	0,0335	0,6541	0,9869
	Melanž	0,1122	0,0452	0,7233	0,9936
10. týden	Žloutek	0,4379	0,2039	0,9625	0,9995
	Bílek	0,0846	0,0594	0,5309	0,9839
	Melanž	0,1075	0,0502	0,7138	0,9960
12. týden	Žloutek	0,4220	0,2297	0,9198	0,9996
	Bílek	0,1980	0,0121	0,8212	0,9916
	Melanž	0,2054	0,0275	0,8331	0,9972
14. týden	Žloutek	0,4168	0,2073	0,9404	0,9996
	Bílek	0,1479	0,0167	0,7731	0,9703
	Melanž	0,1997	0,0298	0,8423	0,9977
16. týden	Žloutek	0,4293	0,2563	0,4293	0,9997
	Bílek	0,1482	0,0239	0,7073	0,9811
	Melanž	0,1777	0,0372	0,7950	0,9971

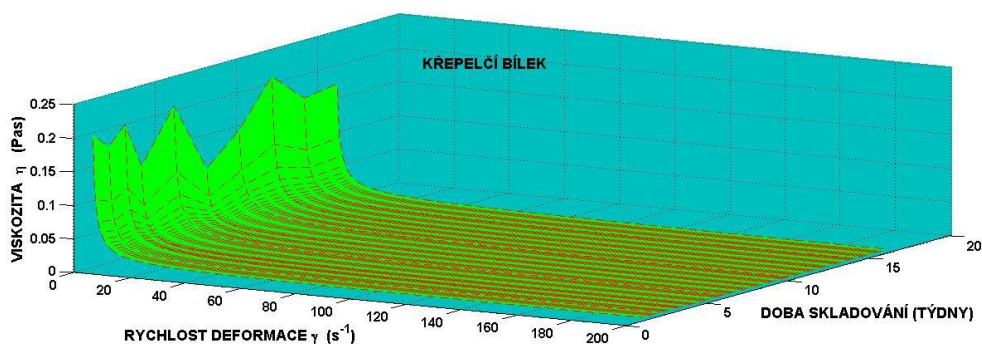
Je zřejmé, že neneutronovské chování je nejvýraznější pro bílek a melanž. U žloutků, stejně jako u žloutků slepičích vajec, je chování velmi blízké newtonově



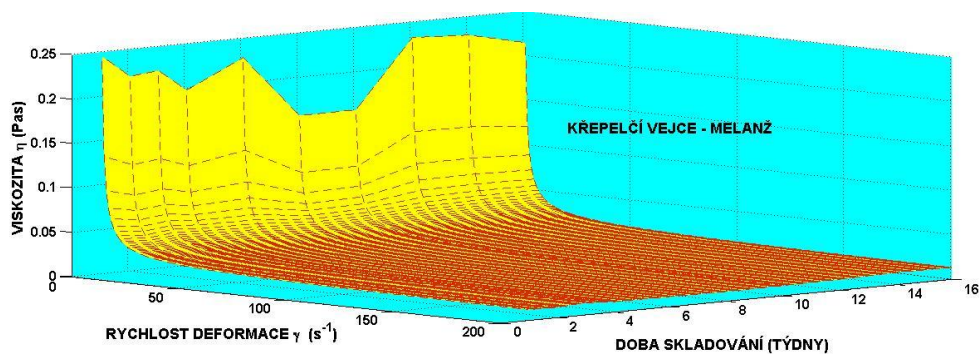
tekutině. Zdánlivá viskozita velmi rychle klesá s rychlostí deformace, jak je znázorněno na Obr. 59 – Obr. 61.



Obr. 59 Vliv doby skladování na viskozitu žloutku křepelčích vajec



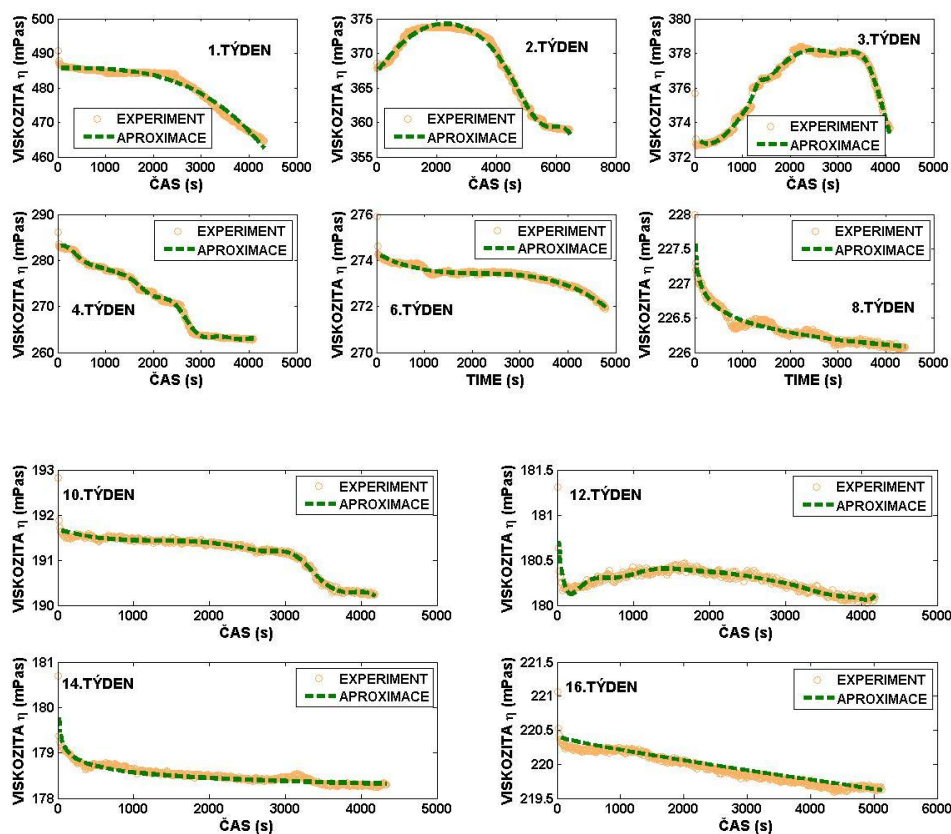
Obr. 60 Vliv doby skladování na viskozitu bílku křepelčích vajec



Obr. 61 Vliv doby skladování na viskozitu melanže křepelčích vajec

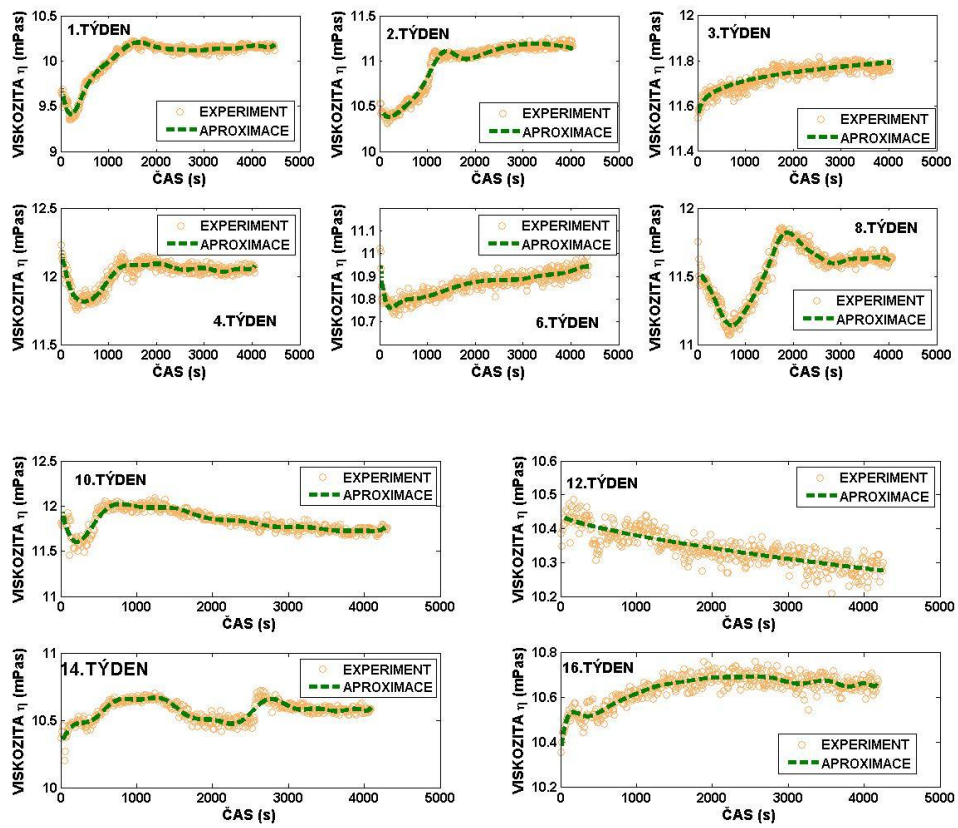


Dále byla sledována časová závislost viskozity jednotlivých vaječných tekutin křepelčích vajec v průběhu skladování. Rychlost deformace byla konstantní,  $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ . Časová závislost viskozity žloutku během skladování je znázorněna na Obr. 62.



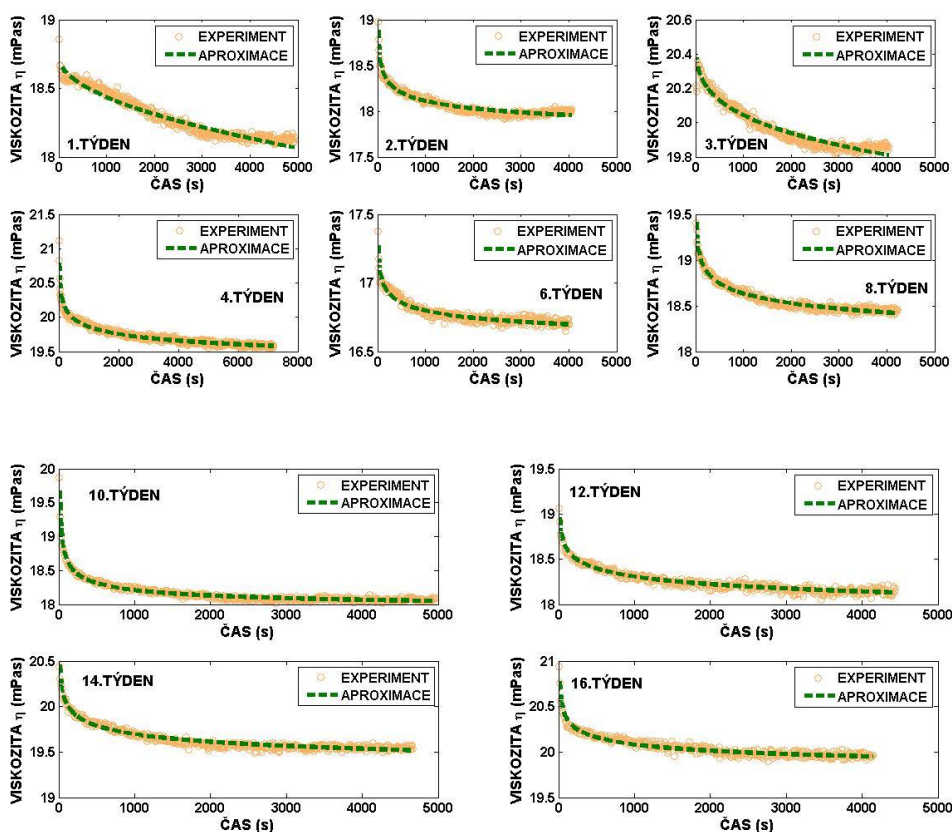
Obr. 62 Časová závislost viskozity žloutku křepelčích vajec v průběhu skladování

Tixotropie, tzn. pokles viskozity s časem, je zřejmá v 1., 4., 6., 8., 14. a 16. týdnu skladování. Vliv doby skladování na časovou závislost viskozity bílku je znázorněn na Obr. 63. Je patrné, že tixotropie je prokazatelná pouze ve 12. týdnu skladování.



Obr. 63 Časová závislost viskozity bílku křepelčích vajec v průběhu skladování

Na Obr. 64 jsou vyneseny časové závislosti viskozity melanže v jednotlivých týdnech skladování.



Obr. 64 Časová závislost viskozity melanže křepelčích vajec v průběhu skladování

Z výsledků vyplývá, že melanž vykazuje tixotropii v každém týdnu skladování. Časové závislosti jsou popsány různými matematickými funkcemi uvedenými pro jednotlivé týdny skladování.

- 1. týden:

Žloutek a melanž popisuje mocnninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

Tekutina	a (mPas)	b	c	R <sup>2</sup>
Žloutek	485,7	$1,05 \cdot 10^{-10}$	3,1210	0,9786
Melanž	18,73	0,008826	0,5078	0,9541

Bílek popisuje Fourierova řada:  $\eta = a_0 + \sum_{i=1}^{i=n} (a_i \cos(iwt) + b_i \sin(iwt))$ .

a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>
11,27873	1,225952	-1,87765	-0,63199	-1,88436	-1,29772	-0,60418
a <sub>4</sub>	b <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	b <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	b <sub>6</sub>	w
-0,73255	0,316825	-0,11297	0,334745	0,035399	0,085864	0,000953

- 2. týden:

Melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
17,28	-2,316	-0,1484	0,9905

Žloutek a bílek popisuje Gaussova aproximace:  $\eta = \sum_{i=1}^{i=4} a_i \exp \left[ - \left( \frac{t - b_i}{c_i} \right)^2 \right]$ .

<b>Tekutina</b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>
Žloutek	374,2642	2303,113	16630,46	6784,406	6840,017	1298,662	-6777,95
Bílek	11,18995	3270,101	10733,43	4,28E+11	-7434,87	1406,982	0,264467

<b>Tekutina</b>	<b>b<sub>3</sub></b>	<b>c<sub>3</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Žloutek	6840,765	1300,205	0,9938
Bílek	1319,701	347,6991	0,9778

- 3. týden:

Bílek a melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

<b>Tekutina</b>	<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Bílek	11,45	-0,06712	0,1966	0,8358
Melanž	20,54	0,07433	0,9436	0,8726

Žloutek popisuje Gaussova aproximace:  $\eta = \sum_{i=1}^{i=4} a_i \exp \left[ - \left( \frac{t - b_i}{c_i} \right)^2 \right]$ .

<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
378,1663	2499,132	13133,44	58,00048	-2369,2	1708,402	1,95662	3591,421

<b>c<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>c<sub>4</sub></b>
453,0142	0,574435	1341,712	141,9778

- 4. týden:

Žloutek a bílek popisuje Fourierův rozvoj:  $\eta = a_0 + \sum_{k=1}^{k=6} (a_k \cos(k * w * t) + b_k \sin(k * w * t))$ .

<b>Tekutina</b>	<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>
Žloutek	271,5009	5,018501	7,652988	2,508764	0,833589	1,635666	0,649354	1,375178
Bílek	12,7954	0,809154	-1,16426	-0,34832	-1,15588	-0,7186	-0,32396	-0,35173

<b>Tekutina</b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>a<sub>6</sub></b>	<b>b<sub>6</sub></b>	<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Žloutek	-0,42061	0,321328	0,132948	0,336795	-0,33309	0,001215	0,9967
Bílek	0,20745	-0,00384	0,180467	0,050885	0,034979	0,001045	0,9914

Melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^n$ .

<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
18,52	3,042	-0,1186	0,9689

o 6. týden:

Žloutek popisuje polynom:  $\eta = at^3 + bt^2 + ct + d$ .

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
$-7,637 \cdot 10^{-11}$	$4,997 \cdot 10^{-7}$	-0,001128	274,3	0,9689

Bílek popisuje Fourierův rozvoj:  $\eta = a_0 + \sum_{k=1}^{k=6} (a_k \cos(k * w * t) + b_k \sin(k * w * t))$ .

<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>
1,28E+09	-2E+09	-8,2E+08	9,98E+08	9,56E+08	-2,6E+08
<b>b<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>a<sub>6</sub></b>
-5,7E+08	8307380	1,9E+08	11727497	-3,3E+07	-1999186
<b>b<sub>6</sub></b>	<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>			
2282497	0,000159	0,8478			

Melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a + bt^n$ .

<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
16,2	1,488	-0,1321	0,9262

o 8. týden:

Žloutek a melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a + bt^n$ .

<b>Tekutina</b>	<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Žloutek	355,5	-127,3	0,001962	0,9658
Melanž	15,9	4,05	-0,05651	0,9708

Bílek popisuje Fourierova řada:  $\eta = a_0 + \sum_{k=1}^{k=3} [a_k \cos(kwt) + b_k \sin(kwt)]$ .

<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
11,5613	-0,11989	-0,1088	0,039137	-0,16817	0,082467	-0,00373
<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>					
0,001245	0,9561					

- 10. týden:

Žloutek popisuje Gaussova funkce:  $\eta = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \exp \left[ -\left( \frac{t - b_i}{c_i} \right)^2 \right]$ .

<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>
423,2259	-31251,3	29865,34	1,2891	4332,518	510,4157	0,2938
<b>b<sub>3</sub></b>	<b>c<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>c<sub>4</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>	
3115,268	332,626	92,4932	6526,994	8334,308	0,9755	

Bílek popisuje Fourierova řada:  $\eta = a_o + \sum_{i=1}^{i=n} [a_i \cos(iwt) + b_i \sin(iwt)]$ .

<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
-8071,32	730,4321	14829,39	11412,65	-1118,91	-1064,67	-7300,15
<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>a<sub>6</sub></b>	<b>b<sub>6</sub></b>	<b>a<sub>7</sub></b>
-3812,7	731,6767	370,8927	1576,561	488,8508	-134,255	-31,5094
<b>b<sub>7</sub></b>	<b>a<sub>8</sub></b>	<b>b<sub>8</sub></b>	<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>		
-102,139	-10,9119	3,660192	0,000664	0,8915		

Melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a + bt^n$ .

<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
17,84	4,258	-0,3536	0,9748

- 12. týden:

Žloutek popisuje Fourierova řada:  $\eta = a_o + \sum_{i=1}^{i=n} [a_i \cos(iwt) + b_i \sin(iwt)]$ .

<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
-2,5E+09	6,15E+09	-1,5E+09	-7,2E+09	0	5,2E+09	2,34E+09
<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>a<sub>6</sub></b>	<b>b<sub>6</sub></b>	<b>a<sub>7</sub></b>
-2E+09	-2,5E+09	1,86E+08	1,26E+09	1,29E+08	-3,2E+08	-4,5E+07
<b>b<sub>7</sub></b>	<b>a<sub>8</sub></b>	<b>b<sub>8</sub></b>	<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>		
34310859	4343365	-443457	0,00025	0,9043		

Bílek a melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a + bt^n$ .

<b>Tekutina</b>	<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Bílek	10,44	0,000529	0,6866	0,7014
Melanž	16,66	2,785	-0,07601	0,9518

- 14. týden:

Bílek popisuje Fourierova řada:  $\eta = a_0 + \sum_{i=1}^{i=n} [a_i \cos(i\omega t) + b_i \sin(i\omega t)]$ .

<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
13,94004	3,064512	-5,66506	-3,06396	-4,70012	-4,48751	0,286667
<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>a<sub>6</sub></b>	<b>b<sub>6</sub></b>	<b>a<sub>7</sub></b>
-1,36464	2,793366	1,088767	1,611095	1,014978	-0,07611	0,201466
<b>b<sub>7</sub></b>	<b>a<sub>8</sub></b>	<b>b<sub>8</sub></b>	<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>		
-0,37518	-0,06531	-0,11409	0,001033	0,8936		

Žloutek a melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a + bt^n$ .

<b>Tekutina</b>	<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Žloutek	177,3	3,592	-0,1503	0,8936
Melanž	18,71	2,396	-0,1294	0,9565

- 16. týden:

Bílek popisuje Fourierova řada:  $\eta = a_0 + \sum_{i=1}^{i=n} [a_i \cos(i\omega t) + b_i \sin(i\omega t)]$ .

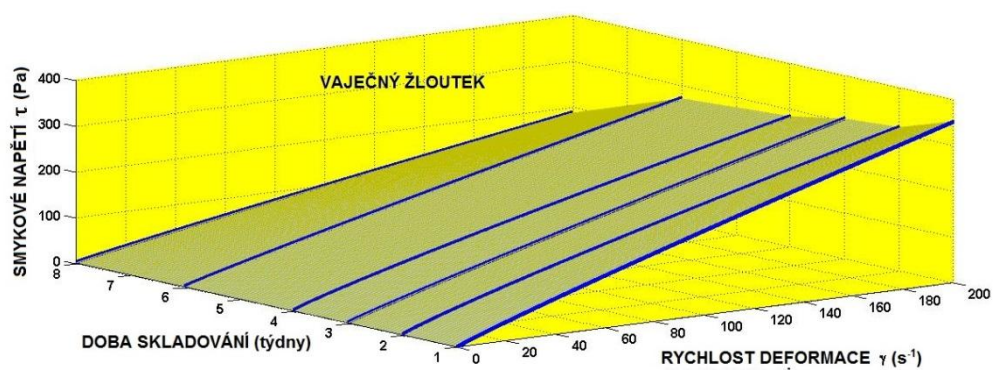
<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>
48654649	-6,3E+07	-6E+07	3258314	63093860	23638788	-2,8E+07
<b>a<sub>4</sub></b>	<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>a<sub>6</sub></b>	<b>b<sub>6</sub></b>	<b>a<sub>7</sub></b>
-1,6E+07	1676083	4378223	3376988	-204375	-1317916	-116583
<b>b<sub>7</sub></b>	<b>a<sub>8</sub></b>	<b>b<sub>8</sub></b>	<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>		
168214	14744,73	-3066,23	0,000378	0,808		

Žloutek a melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a + bt^n$ .

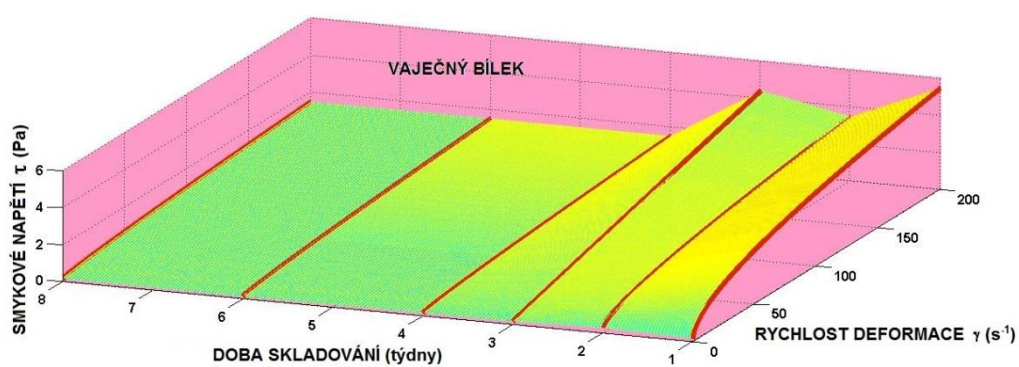
<b>Tekutina</b>	<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Žloutek	204	-0,0004793	0,8654	0,9496
Melanž	19,45	1,993	0,1661	0,9354

### 5.3.3 Tok vaječných tekutin husích vajec

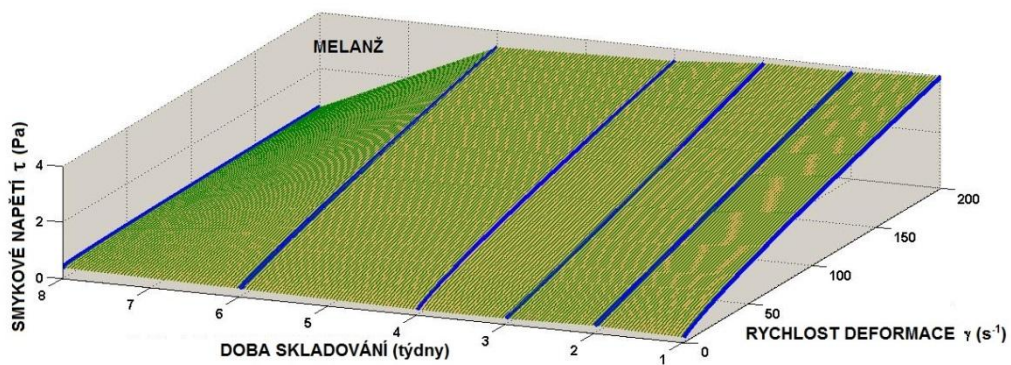
Na Obr. 65 – Obr. 67 jsou vyneseny experimentální záznamy závislosti smykové napětí – rychlost deformace pro jednotlivé týdny skladování. Pro všechny vaječné tekutiny jsou experimentální data proložena mocninnou závislostí, viz rovnice (14). Parametry této rovnice jsou obsahem Tab. 42.



Obr. 65 Vliv doby skladování na tokové křivky žloutku husích vajec



Obr. 66 Vliv doby skladování na tokové křivky bílku husích vajec



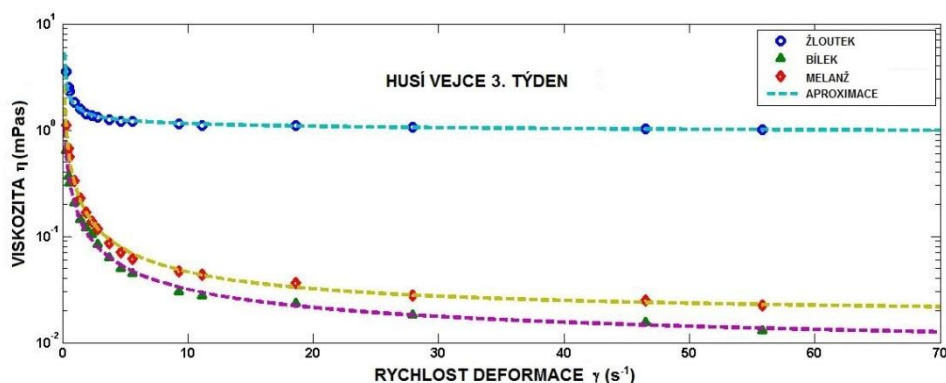
Obr. 67 Vliv doby skladování na tokové křivky melanže husích vajec



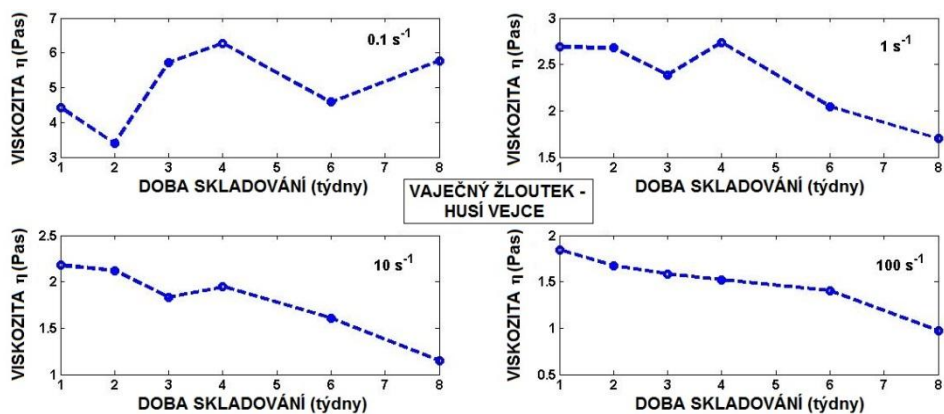
Tab. 42 Parametry Herschel-Bulkleyova modelu pro vaječné tekutiny husích vajec

Doba skladování	Tekutina	$\tau_0$ (Pa)	K	n	R <sup>2</sup>
1. týden	Žloutek	0,1436	2,5440	0,9299	0,9997
	Bílek	0,0000	0,4831	0,4570	0,9415
	Melanž	0,1825	0,0510	0,8129	0,9987
2. týden	Žloutek	0,0000	2,6780	0,8982	0,9989
	Bílek	0,2476	0,1620	0,5611	0,9885
	Melanž	0,2825	0,0186	0,9895	0,9912
3. týden	Žloutek	0,3390	2,0460	0,9441	0,9998
	Bílek	0,1701	0,0226	0,9851	0,9851
	Melanž	0,2175	0,0141	0,9450	0,9944
4. týden	Žloutek	0,3237	2,4120	0,8995	0,9999
	Bílek	0,1555	0,0289	0,7148	0,9858
	Melanž	0,1999	0,0481	0,8005	0,9968
6. týden	Žloutek	0,2557	1,7920	0,9467	0,9997
	Bílek	0,1158	0,0278	0,7292	0,9905
	Melanž	0,2951	0,0303	0,8736	0,9973
8. týden	Žloutek	0,4332	1,2650	0,9421	0,9999
	Bílek	0,1507	0,0285	0,7165	0,9958
	Melanž	0,3819	0,0314	0,3819	0,9931

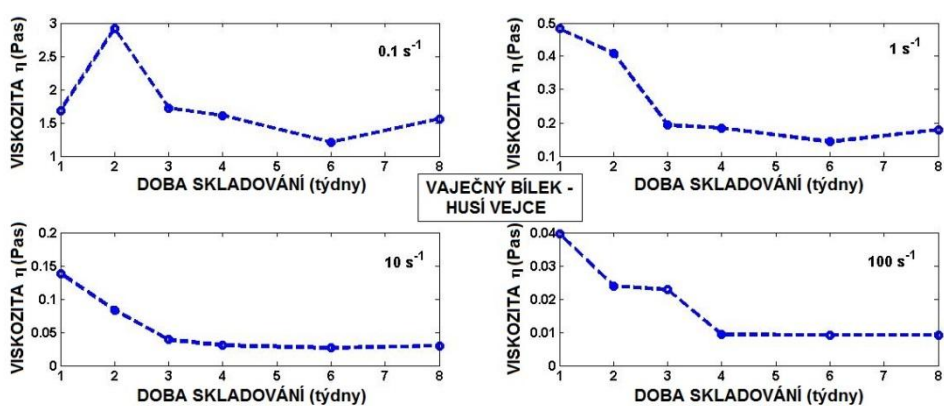
Je zřejmé, že chování žloutku je stejně jako u slepičích a křepelčích vajec poměrně blízké newtonově tekutině. Viskozita pak klesá s rychlostí deformace, a to po celou dobu skladování. Příklad této závislosti je uveden na Obr. 68. Stejně jako v případě slepičích a křepelčích vajec jsou hodnoty viskozity bílku a melanže výrazně nižší než u žloutku. Pro posouzení vlivu doby skladování je tak vhodnější sledovat jen některé hodnoty rychlosti deformace. Stejně jako v předcházejících dvou případech byly zvoleny rychlosti deformace: 0,1; 1; 10 a 100 s<sup>-1</sup>. Na Obr. 69 – Obr. 71 jsou vyneseny výsledky.



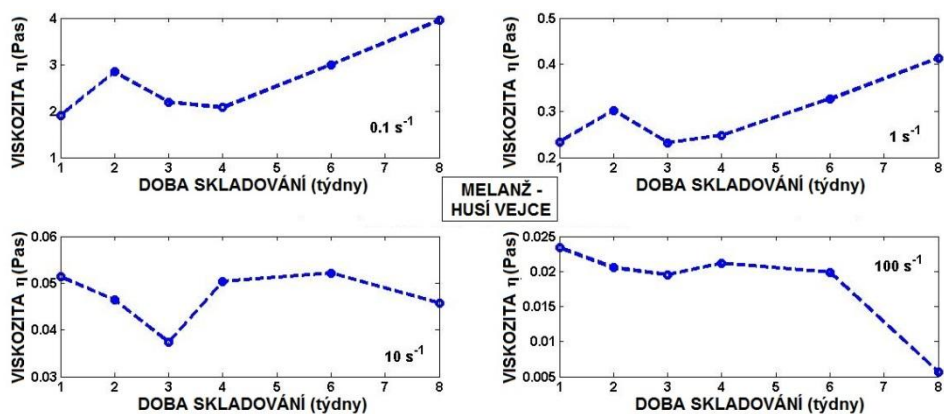
Obr. 68 Vliv rychlosti deformace na viskozitu vaječných tekutin husích vajec



Obr. 69 Vliv doby skladování na viskozitu žloutku husích vajec



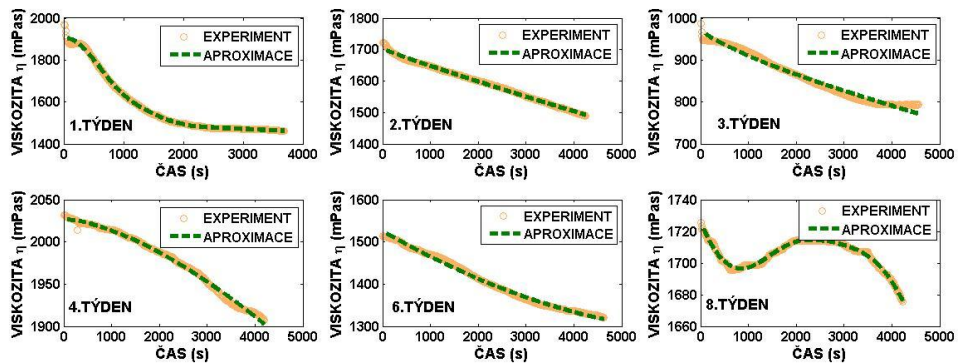
Obr. 70 Vliv doby skladování na viskozitu bílku husích vajec



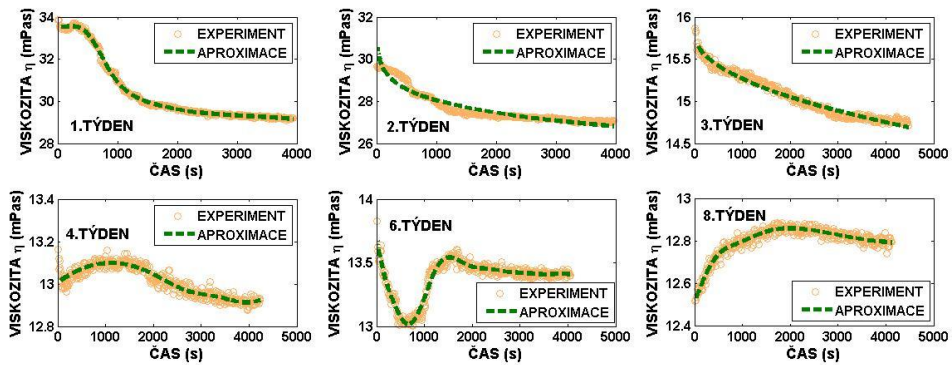
Obr. 71 Vliv doby skladování na viskozitu melanže husích vajec

Pro nejnižší hodnotu rychlosti deformace má viskozita žloutku a bílku oscilující charakter. Pro vyšší hodnoty rychlosti deformace pak obecně viskozita klesá s dobou skladování. Tato tendence se v případě melanže projevuje jen pro rychlost deformace 100 s<sup>-1</sup>. Ve zbývajících případech pak viskozita melanže s dobou skladování roste, či

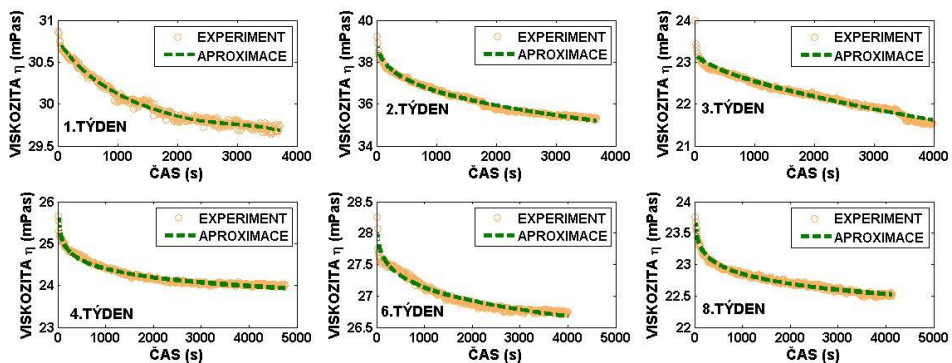
zůstává konstantní. Stejně jako v předcházejících případech byly stanoveny časové závislosti viskozity jednotlivých vaječných tekutin. Výsledky uvádí Obr. 72 – Obr. 74.



Obr. 72 Časová závislost viskozity žloutku husích vajec v průběhu skladování



Obr. 73 Časová závislost viskozity bílku husích vajec v průběhu skladování



Obr. 74 Časová závislost viskozity melanže husích vajec v průběhu skladování

Je patrné, že žloutek vykazuje tixotropii v 1., 2., 3., 4. a 6. týdnu skladování. Bílek vykazuje tixotropii během prvních tří týdnů a melanž v průběhu celé doby skladování. Popis jednotlivých průběhů závislosti viskozita – čas je rozličný. Přehled stanovených vztahů je uveden pro každý týden.

- 1. týden:

Žlutek, bílek i melanž popisuje Gaussova aproximace:  $\eta = \sum_{k=1}^{k=\xi} a_k \exp \left[ - \left( \frac{t - b_k}{c_k} \right)^2 \right]$ .

Tekutina	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>
Žlutek	398,2795	13,17471	899,804	29,06756	1361,505	523,8377
Bílek	1,690975	449,2577	434,2535	2,1E+13	-118604	22367,41
Melanž	1,43E+13	-134566	25459,21	27,85137	4690,604	7834,595

Tekutina	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>	c <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>
Žlutek	12257,92	-503934	348143,6	0,9975
Bílek	27,5895	4944,314	8789,744	0,9977
Melanž	0,917912	688,3265	1847,027	0,9968

- 2. týden:

Žlutek, bílek i melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

Tekutina	a (mPas)	b	c	R <sup>2</sup>
Žlutek	1703	0,09015	0,9288	0,9957
Bílek	33,38	1,894	0,15	0,9219
Melanž	39,72	0,4334	0,2853	0,9898

- 3. týden:

Žlutek, bílek i melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

Tekutina	a (mPas)	b	c	R <sup>2</sup>
Žlutek	974,1	0,3465	0,7561	0,9783
Bílek	15,8	0,01834	0,4882	0,9739
Melanž	23,24	0,01038	0,6095	0,9729

- 4. týden:

Žlutek a melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

Tekutina	a (mPas)	b	c	R <sup>2</sup>
Žlutek	2027	0,000326	1,541	0,9783
Melanž	43,4	17,07	0,01545	0,9799

Bílek – nejlépe vyhovuje Gaussova aproximace:  $\eta = \sum_{k=1}^{k=\xi} a_k \exp \left[ - \left( \frac{t - b_k}{c_k} \right)^2 \right]$ .

a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>
13,09913	1121,091	13252,23	0,770314	4972,003	1090,968	0,122707	3448,903
c <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>						
730,1385	0,9799						

- 6. týden:

Melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
28,72	0,4502	0,1823	0,9662

Žloutek popisuje kvadratická funkce:  $\eta = at^2 + bt + c$ .

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
$1,255 \cdot 10^{-6}$	-0,06485	1525	0,9936

Bílek popisuje Fourierova řada:  $\eta = a_0 + \sum_{i=1}^{i=5} a_i \cos(i\omega t) + b_i \sin(i\omega t)$ .

<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>
13,49384	0,075975	-0,15119	0,010368	-0,24263	0,017722	-0,15274	0,030815

<b>b<sub>4</sub></b>	<b>a<sub>5</sub></b>	<b>b<sub>5</sub></b>	<b>w</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
-0,03385	0,016272	0,012073	0,001105	0,9431

- 8. týden:

Žloutek a bílek popisuje Gaussova funkce:  $\eta = \sum_{k=1}^{k=5} a_k \exp \left[ - \left( \frac{t - b_k}{c_k} \right)^2 \right]$ .

<b>Tekutina</b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>
Žloutek	1,4E+12	-233014	51143,09	1060,561	4802,524	4710,07
Bílek	12,48503	764,8842	7652,952	5,846206	7779,682	3964,743

<b>Tekutina</b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>b<sub>3</sub></b>	<b>c<sub>3</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Žloutek	27,00588	1777,955	1078,815	0,9893
Bílek	0,071112	411,133	447,9214	0,9443

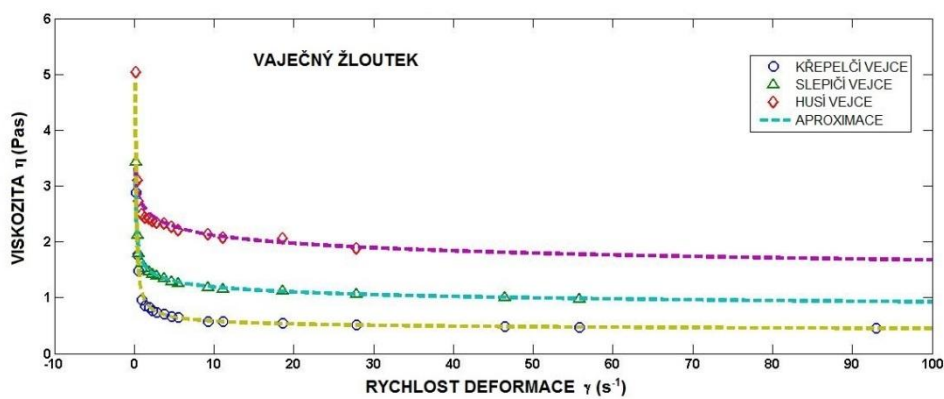
Melanž popisuje mocninná závislost:  $\eta = a - bt^c$ .

<b>a (mPas)</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
26,05	1,989	0,06888	0,9855

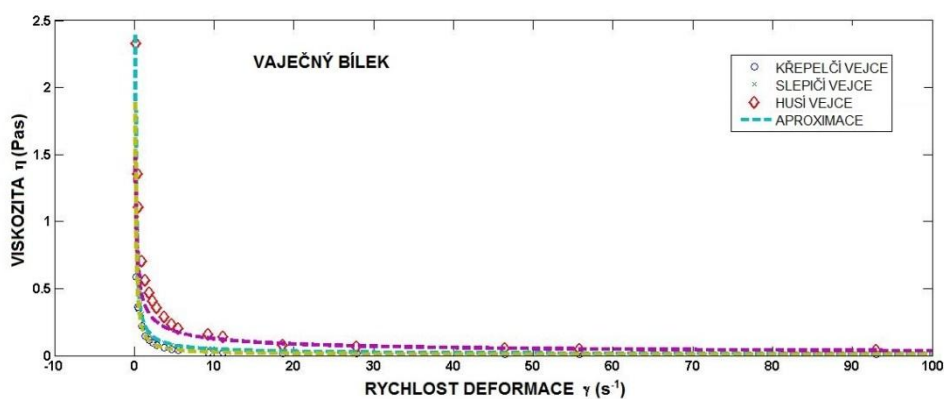
### 5.3.4 Shrnutí výsledků o tokových vlastnostech vaječných tekutin

Dosažené výsledky ukazují, že chování vaječných tekutin je popsáno pomocí Herschel-Bulkleyova modelu. Pro všechny vaječné tekutiny klesá jejich viskozita s rychlostí deformace. Viskozita vaječných tekutin je obecně časově závislá, kdy největší změny lze pozorovat pro žloutky. V závislosti na době skladování vykazují vaječné tekutiny

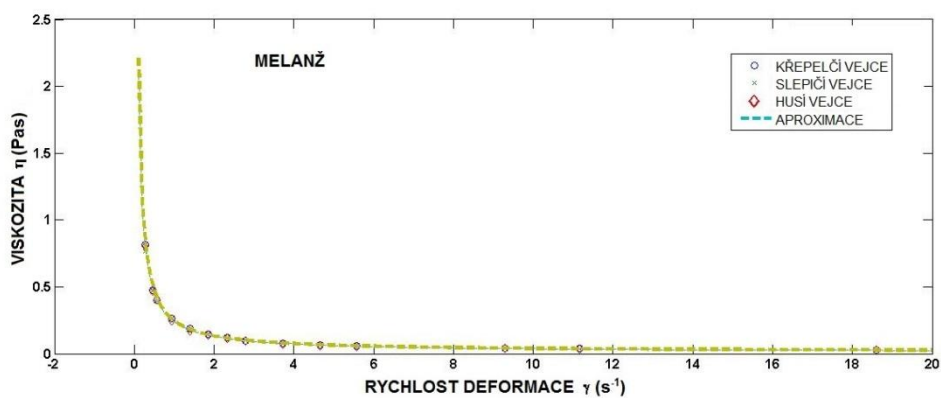
tixotropní chování. Závislosti viskozity na rychlosti deformace pro 1. týden skladování jsou vyneseny na Obr. 75 – Obr. 77.



Obr. 75 Viskozita žloutků sledovaných vajec

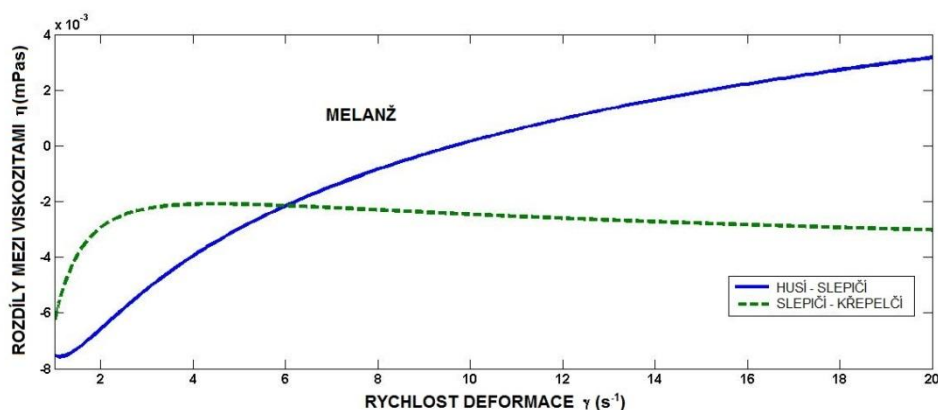


Obr. 76 Viskozita bílků sledovaných vajec



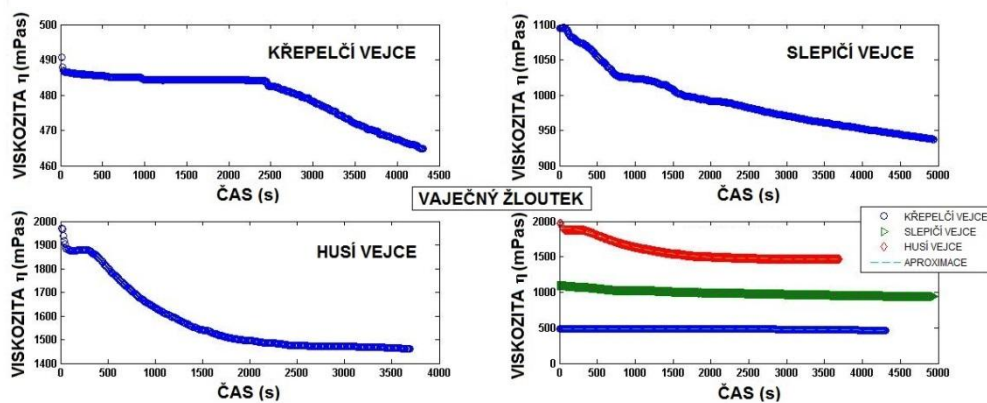
Obr. 77 Viskozita melanže sledovaných vajec

Je zřejmé, že největší viskozitu žloutku vykazují husí vejce, dále následují žloutky slepičích vajec, nejmenší hodnoty dosahují křepelčí vejce. Toto pořadí pak platí i pro bílky. U melanže jsou rozdíly mezi viskozitami velmi malé, jak ukazují výsledky na Obr. 78.



Obr. 78 Rozdíly mezi viskozitami melanže sledovaných vajec

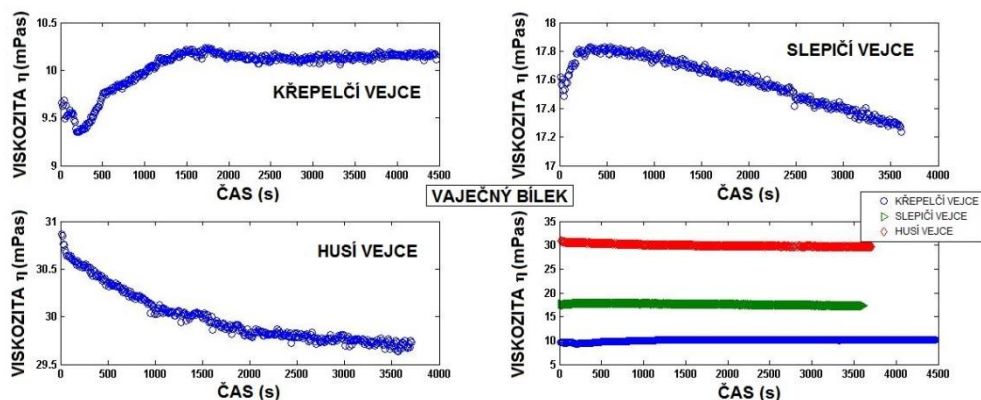
Je zřejmé, že pořadí viskozit je stejné jako u bílků a žloutků. Časové závislosti viskozity žloutků sledovaných vajec jsou vyneseny na Obr. 79.



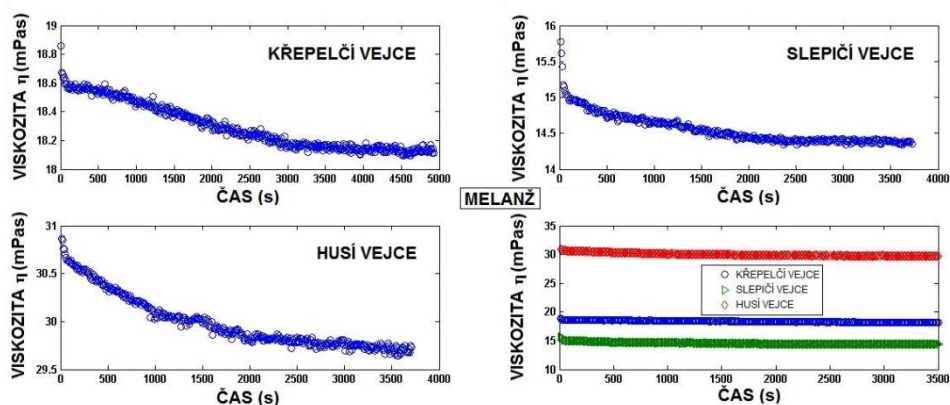
Obr. 79 Časové závislosti viskozity žloutků (rychlost deformace  $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ )

Z výsledků vyplývá, že nejmenší vliv času se projevuje u žloutku křepelčích vajec. Obdobné závislosti pro bílek a melanž jsou vyneseny na Obr. 80 a Obr. 81.





Obr. 80 Časové závislosti viskozity bílků (rychlost deformace  $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ )



Obr. 81 Časové závislosti viskozity melanže (rychlost deformace  $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ )

Jak u bílku, tak i u melanže jsou časové změny velmi malé ve srovnání se žloutky. Pro aplikaci získaných výsledků pro popis ztrát při proudění je nezbytné použít numerických metod. Analytické postupy použité v kapitole 2 nejsou použitelné pro Herschel-Bulkleyův model. Vezmeme-li ovšem hodnoty meze kluzu  $\tau_0$ , tak jde o poměrně malá napětí. Z tohoto hlediska je otázkou, do jaké míry je možné použít pro popis toku vaječných tekutin Ostwald-de Waele model, tzn. model, kde  $\tau = K_1 \dot{\gamma}^{n_1}$ . V následujících Tab. 43 – Tab. 45 jsou uvedeny parametry obou modelů spolu s hodnotami korelačních koeficientů pro vejce jednotlivých druhů drůbeže.



Tab. 43 Porovnání Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waele modelů pro vaječné tekutiny husích vajec ( $R^2$  označuje koeficient korelace)

Doba skladování	Tekutina	$\tau_0$ (Pa)	K	n	$R^2$	$K_1$	$n_1$	$R^2$
1. týden	Žloutek	-0,1005	2,7280	0,8930	0,9989	2,6780	0,8982	0,9990
	Bílek	0,7189	0,0860	0,7813	0,9894	0,4831	0,4570	0,9415
	Melanž	0,2112	0,0190	0,9302	0,9993	0,0806	0,6658	0,9635
2. týden	Žloutek	0,3237	2,4120	0,8995	0,9999	2,5770	0,8849	0,9998
	Bílek	0,2476	0,1620	0,5611	0,9885	0,3240	0,4355	0,9778
	Melanž	0,3819	0,0314	0,3819	0,9931	0,1674	0,5878	0,9345
3. týden	Žloutek	0,4332	1,2650	0,9421	0,9999	1,4070	0,9169	0,9997
	Bílek	0,1677	0,0226	0,7912	0,9972	0,1023	0,5227	0,9556
	Melanž	0,2678	0,0260	0,9024	0,9982	0,1131	0,6259	0,9571
4. týden	Žloutek	0,1436	2,5440	0,9299	0,9997	2,6120	0,9224	0,9997
	Bílek	0,1555	0,0289	0,7148	0,9858	0,1192	0,4496	0,9510
	Melanž	0,1999	0,0482	0,8003	0,9968	0,1216	0,6268	0,9800
6. týden	Žloutek	0,2557	1,7920	0,9467	0,9997	1,9110	0,9285	0,9997
	Bílek	0,1158	0,0278	0,7292	0,9905	0,0858	0,5190	0,9672
	Melanž	0,1825	0,0510	0,8129	0,9987	0,1101	0,6692	0,9867
8. týden	Žloutek	0,3390	2,0460	0,9441	0,9998	2,2060	0,9229	0,9997
	Bílek	0,1507	0,0285	0,7165	0,9958	0,1139	0,4589	0,9605
	Melanž	0,2951	0,0303	0,8736	0,9973	0,1437	0,5800	0,9532

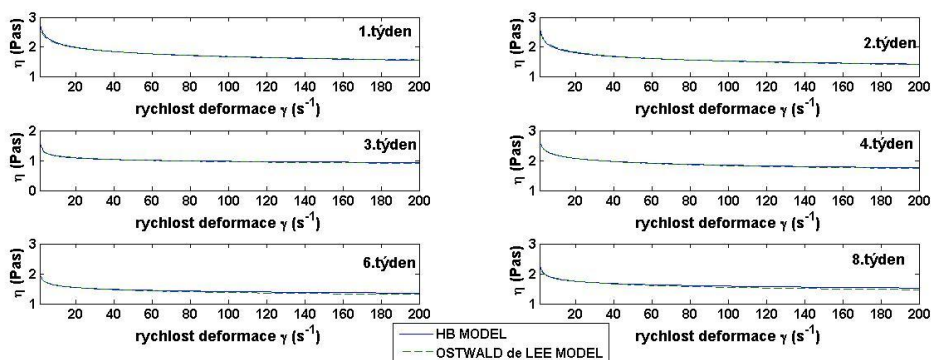
Tab. 44 Porovnání Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waele modelů pro vaječné tekutiny slepičích vajec ( $R^2$  označuje koeficient korelace)

Doba skladování	Tekutina	$\tau_0$ (Pa)	K	n	$R^2$	$K_1$	$n_1$	$R^2$
1. týden	Žloutek	0,1466	1,4990	0,8951	0,9999	1,5520	0,8869	0,9999
	Bílek	0,2284	0,0577	0,6463	0,9828	0,2379	0,3556	0,9519
	Melanž	0,2064	0,0327	0,7049	0,9791	0,1920	0,3463	0,9519
2. týden	Žloutek	0,4278	0,6712	0,9667	0,9998	0,8099	0,9217	0,9997
	Bílek	0,1729	0,0313	0,6373	0,9876	0,1754	0,2968	0,9316
	Melanž	0,1683	0,0397	0,6704	0,9950	0,1605	0,3944	0,9442
3. týden	Žloutek	0,3759	0,6748	0,9422	0,9999	0,7297	0,9045	0,9997
	Bílek	0,2016	0,0160	0,7881	0,9781	0,1820	0,2816	0,8886
	Melanž	0,2094	0,0161	0,8835	0,9827	0,1673	0,3752	0,9168
4. týden	Žloutek	0,3708	0,7011	0,9578	0,9999	0,8233	0,9193	0,9998
	Bílek	0,1088	0,0615	0,4966	0,9669	0,1456	0,3491	0,9416
	Melanž	0,1922	0,0261	0,7917	0,9883	0,1583	0,4165	0,9323
5. týden	Žloutek	0,4318	0,5905	0,9380	0,9999	0,6963	0,9023	0,9995
	Bílek	0,1521	0,0397	0,6113	0,9908	0,1634	0,3302	0,9752
	Melanž	0,2185	0,0193	0,8486	0,9889	0,1752	0,3806	0,9161
6. týden	Žloutek	0,4371	0,6015	0,9353	0,9999	0,7089	0,9001	0,9994
	Bílek	0,1276	0,0431	0,6027	0,9762	0,1448	0,3586	0,9509
	Melanž	0,1409	0,0540	0,6854	0,9943	0,1481	0,4746	0,9766
7. týden	Žloutek	0,3736	0,5397	0,9387	0,9999	0,6301	0,9055	0,9995
	Bílek	0,1195	0,0426	0,5829	0,9789	0,1405	0,3441	0,9545
	Melanž	0,1563	0,0376	0,6961	0,9929	0,1509	0,4076	0,9587
8. týden	Žloutek	0,4166	0,4453	0,9423	0,9999	0,5477	0,8379	0,9991
	Bílek	0,1888	0,0212	0,7112	0,9858	0,1797	0,2784	0,9095
	Melanž	0,1822	0,0319	0,7655	0,9935	0,1563	0,4309	0,9505

Tab. 45 Porovnání Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waele modelů pro vaječné tekutiny křepelčích vajec ( $R^2$  označuje koeficient korelace)

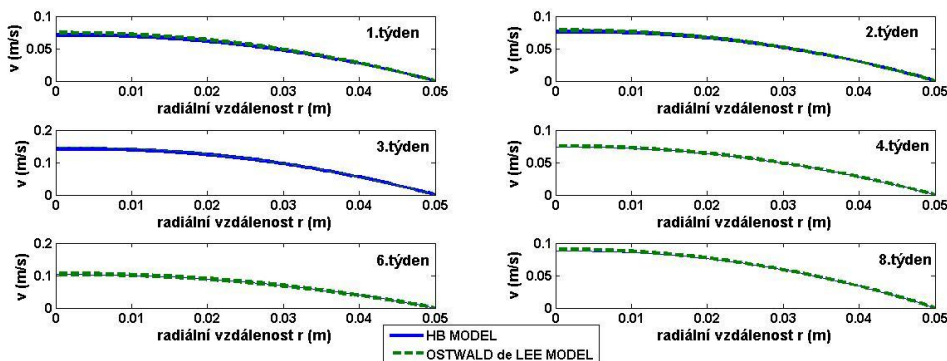
Doba skladování	Tekutina	$\tau_0$ (Pa)	K	n	$R^2$	$K_1$	$n_1$	$R^2$
1. týden	Žloutek	0,4115	0,6533	0,9164	0,9999	0,7604	0,8838	0,9995
	Bílek	0,1904	0,0070	0,9182	0,9923	0,1663	0,2546	0,8842
	Melanž	0,2201	0,0256	0,8429	0,9988	0,1724	0,4338	0,9481
2. týden	Žloutek	0,4942	0,4454	0,9378	0,9998	0,5706	0,8846	0,9998
	Bílek	0,1589	0,0145	0,8122	0,9928	0,1409	0,3282	0,9555
	Melanž	0,1921	0,0280	0,8187	0,9979	0,1573	0,4462	0,9647
3. týden	Žloutek	0,4318	0,4628	0,9316	0,9999	0,5729	0,8858	0,9991
	Bílek	0,1830	0,0164	0,7837	0,9952	0,1283	0,3988	0,9186
	Melanž	0,1902	0,0333	0,8203	0,9992	0,1044	0,6062	0,9745
4. týden	Žloutek	0,3214	0,3438	0,9373	0,9993	0,3904	0,9137	0,9996
	Bílek	0,1047	0,0261	0,6798	0,9914	0,0873	0,4561	0,9654
	Melanž	0,1557	0,0426	0,7450	0,9936	0,1115	0,5655	0,9768
6. týden	Žloutek	0,3613	0,3316	0,9384	1,0000	0,3843	0,9110	0,9995
	Bílek	0,1919	0,0156	0,7754	0,9939	0,1420	0,3634	0,9034
	Melanž	0,2016	0,0271	0,8201	0,9981	0,1129	0,5524	0,9604
8. týden	Žloutek	0,2963	0,2754	0,9393	0,9998	0,3162	0,9123	0,9993
	Bílek	0,0671	0,0335	0,6541	0,9869	0,0691	0,5198	0,9749
	Melanž	0,1122	0,0452	0,7233	0,9936	0,0942	0,5864	0,9845
10. týden	Žloutek	0,4379	0,2039	0,9625	0,9995	0,2643	0,9143	0,9982
	Bílek	0,0846	0,0594	0,5309	0,9839	0,1183	0,4071	0,9749
	Melanž	0,1075	0,0502	0,7138	0,9960	0,0961	0,5931	0,9880
12. týden	Žloutek	0,4220	0,2297	0,9198	0,9996	0,2996	0,8704	0,9981
	Bílek	0,1980	0,0121	0,8212	0,9916	0,1406	0,3620	0,8923
	Melanž	0,2054	0,0276	0,8331	0,9972	0,1099	0,5735	0,9623
14. týden	Žloutek	0,4168	0,2073	0,9404	0,9996	0,2707	0,8909	0,9980
	Bílek	0,1479	0,0167	0,7731	0,9703	0,1036	0,4308	0,9206
	Melanž	0,1997	0,0298	0,8423	0,9977	0,1026	0,6102	0,9698
16. týden	Žloutek	0,4293	0,2563	0,4293	0,9997	0,3189	0,9046	0,9987
	Bílek	0,1482	0,0239	0,7073	0,9811	0,1165	0,4127	0,9401
	Melanž	0,1777	0,0372	0,7950	0,9971	0,1070	0,5969	0,9750

Pro veškeré sledované vaječné tekutiny jsou korelační koeficienty obou modelů velmi blízké a obecně velmi vysoké. Tzn. že použití Ostwald-de Waeleho modelu je oprávněné. Pro ilustraci jsou na Obr. 82 uvedeny průběhy viskozit žloutku slepičích vajec v jednotlivých týdnech skladování.



Obr. 82 Závislost viskozity žloutku slepičích vajec na rychlosti deformace

Je zřejmé, že rozdíly mezi viskozitami stanovenými pomocí Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waeleho modelu jsou zcela zanedbatelné. Další posouzení rozdílů mezi oběma modely lze získat při studiu toku kapaliny potrubím. Jako příklad lze uvažovat potrubí o průměru  $R = 0,05$  m, délky  $l = 1$  m, kdy je kapalina uváděna do pohybu přetlakem  $\Delta P = 300$  Pa. Na Obr. 83 je znázorněno radiální rozložení rychlosti toku žloutku slepičích vajec.

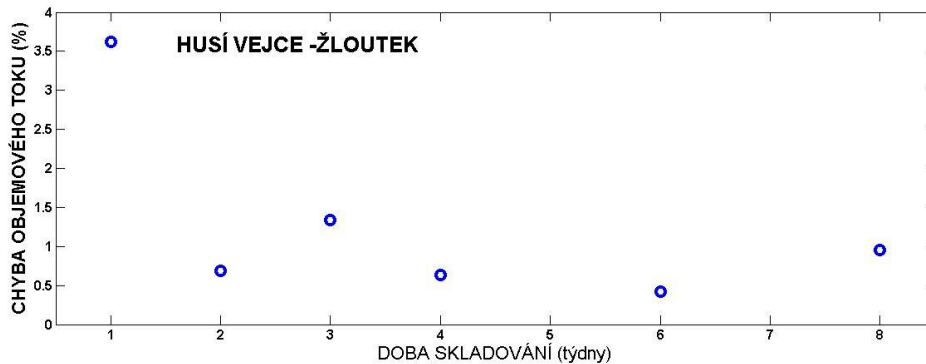


Obr. 83 Radiální rozložení velikosti rychlosti proudění žloutku slepičích vajec

Výsledky ukazují, že rozdíly vyplývající z použití sledovaných modelů jsou velmi malé, ne-li přímo zanedbatelné. Dále je uvažován objemový tok kapaliny (tzn. objem kapaliny, který proteče na dané délce potrubí  $l$  za jednotku času) stanovený pomocí Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waeleho modelu, viz kapitola 2. Jestliže je označen objem stanovený pomocí Herschel-Bulkleyova modelu jako  $V_1$  a objem stanovený pomocí Ostwald-de Waeleho modelu jako  $V_2$ , lze odchylku mezi oběma modely popsat pomocí veličiny:

$$CHYBA\ OBJEMOVÉHO\ TOKU = \left| \frac{V_1 - V_2}{V_1} \right| \cdot 100 \quad (\%),$$

Na Obr. 84 je vynesena tato chyba pro žloutek slepičích vajec v jednotlivých týdnech skladování.

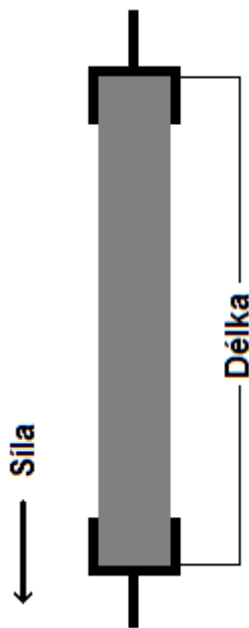


Obr. 84 Chyba objemového toku – žloutek slepičích vajec

Ukazuje se, že tato chyba je menší jak 4 %. Stejně poznatky byly získány pro veškeré vaječné tekutiny u všech sledovaných vajec. To znamená, že místo poměrně složitého Herschel-Bulkleyova modelu je možné použít Ostwald-de Waeleho modelu. To má význam zejména pro numerickou simulaci proudění tekutiny, kde zmíněný Herschel-Bulkleyův model vede k numerické nestabilitě u řady problémů proudění (Mitsoulis, 2007).

#### 5.4 Pevnost podskořápkových blan při tahovém zatížení

Jak bylo uvedeno v kapitole 2, pevnost podskořápkových blan vajec charakterizuje jejich účinnost při ochraně proti pronikání mikroorganismů a rovněž ovlivňuje pevnost vaječné skořápky, a tím i výslednou kvalitu. V rámci této práce byly sledovány změny pevnosti podskořápkových blan vajec různých druhů drůbeže (slepice, křepelky a husy) během skladování. Hodnocení pevnosti bylo provedeno na vzorcích blan ve tvaru čtverce (o rozměru 15 × 15 mm) různé tloušťky, viz kapitola 4.2.4, které byly přilepeny ke kovovým nosičům, což znázorňuje Obr. 85.



Obr. 85 Schéma vzorku pro tahové zkoušky podskořápkových blan sledovaných vajec

Takto připravené vzorky byly zatěžovány pomocí tahového zkušebního stroje TIRAtest 27025. Rychlost zatěžování byla 1, 10, 100, 400 a 800 mm·min<sup>-1</sup>. V průběhu zatížení byly zaznamenány časové průběhy síly  $F$  a prodloužení  $\Delta l$ . Z těchto průběhů pak byly stanoveny následující veličiny:

$$\text{napětí } \sigma, \text{ dle vztahu: } \sigma_u = \frac{F}{A_0},$$

kde  $A_0$  je průřez vzorku (šířka vzorku  $\times$  tloušťka vzorku),

$$\text{deformace } \varepsilon_C: \varepsilon_C = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0},$$

kde  $l_0$  je počáteční délka vzorku ( $l_0 = 15$  mm). Mimo této, tzv. Cauchyho deformace, která je vztažena na počáteční délku vzorku, je používána tzv. skutečná (Henckeho deformace), vztažená na okamžitou délku vzorku  $l$ :

$$\varepsilon_H = \ln\left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0}\right) = \ln(1 + \varepsilon_C).$$

Skutečné napětí, tzn. napětí v okamžitém průřezu vzorku, je obvykle stanoveno na základě předpokladu o nestlačitelnosti materiálu, kdy pro skutečné napětí platí:

$$\sigma_t = \sigma_u \cdot (1 + \varepsilon_C).$$

Mimo deformace je používána další veličina:

$$\lambda = \frac{l}{l_0} = 1 + \varepsilon_C.$$

Pro rychlost deformace platí:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} \equiv \dot{\varepsilon} = \frac{v}{l_0},$$

kde  $v$  je rychlost zatěžování. Pro námi zvolené rychlosti zatěžování a délky vzorku dostáváme hodnoty rychlostí deformace: 0,00111; 0,0111; 0,111; 0,444 a 0,888 s<sup>-1</sup>.

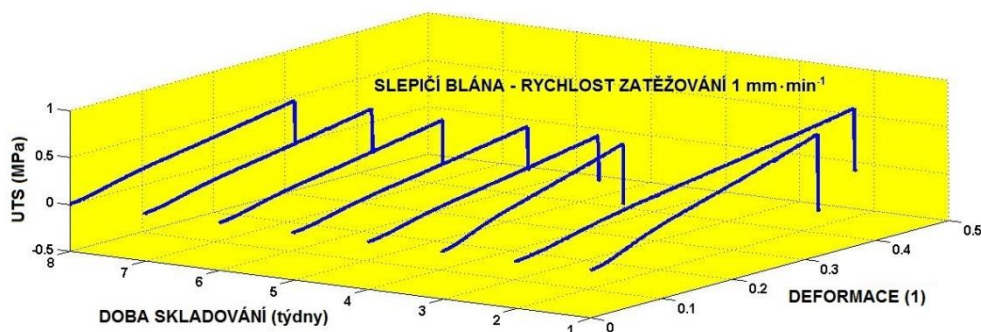
Na Obr. 86 jsou uvedeny příklady průběhů napětí – deformace (Strnková *et al.*, 2015). Napětí roste do maximální hodnoty, při které dochází k lomovému poškození blány. Toto napětí označujeme jako pevnost blány *UTS* (z anglického jazyka – ultimate tensile strength). Odpovídající deformace je tzv. lomová deformace  $\varepsilon_f$  resp. skutečná lomová deformace  $\varepsilon_{true}$ . Ukazuje se, že kvalitativní rysy závislosti napětí – deformace jsou shodné pro blány všech sledovaných vajec a pro veškeré použité rychlosti zatěžování. Další veličinou je práce vykonaná vnější silou až do lomu. Pro tuto práci vztahenou na jednotku objemu platí:

$$W = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon.$$

Tato veličina, kterou zpravidla označujeme pojmem deformační energie, zahrnuje jak velikost pevnosti *UTS*, tak tvar závislosti napětí – deformace. Tvar této závislosti byl diskutován v našich předcházejících pracích (Strnková *et al.*, 2014b; Strnková *et al.*, 2015). V následujících podkapitolách jsou uvedeny výsledky pro blány vajec slepic, křepelek a hus.

#### 5.4.1 Podskořápkové blány slepičích vajec

Vzorky blan byly testovány v jednotlivých týdnech skladování. Z výsledků vyplývá, že doba skladování neovlivňuje kvalitativní charakter závislosti napětí – deformace, jak ukazuje příklad uvedený na Obr. 86. Jde o výsledky získané pro rychlost zatěžování  $v = 1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Závěry platí i pro zbývající rychlosti.



Obr. 86 Vliv doby skladování na průběh závislosti napětí – deformace u podskořápkových blan slepičích vajec

Z uvedených záznamů byly stanoveny následující veličiny, a to  $UTS$ ,  $\epsilon_f$ ,  $\epsilon_{ftrue}$ ,  $W$ , definované v úvodu této části. Pro každou rychlost zatěžování a v každém týdnu skladování byly provedeny 3 experimenty. Tato data jsou uvedena v Tab. 46 – Tab. 50.

Tab. 46 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ )
1. týden	0,8000	0,3167	0,2737	0,1276
	0,7852	0,2613	0,2304	0,0992
	0,8296	0,3340	0,2872	0,1575
2. týden	0,6519	0,4713	0,3840	0,1596
	0,6000	0,3007	0,2601	0,0941
	0,6296	0,3120	0,2692	0,1036
3. týden	0,5778	0,3753	0,3172	0,1068
	0,6296	0,2527	0,2239	0,0797
	0,4741	0,2973	0,2597	0,0710
4. týden	0,4322	0,3094	0,2695	0,0721
	0,4676	0,3219	0,2791	0,0802
	0,4173	0,3569	0,3052	0,0777
5. týden	0,4568	0,3270	0,2849	0,0762
	0,4528	0,3117	0,2702	0,0777
	0,4253	0,3637	0,3110	0,0792
6. týden	0,4596	0,3290	0,2866	0,0767
	0,4653	0,3203	0,2777	0,0798
	0,4253	0,3638	0,3111	0,0792
7. týden	0,4360	0,3121	0,2719	0,0727
	0,4611	0,3174	0,2752	0,0791
	0,4186	0,3580	0,3061	0,0779
8. týden	0,4598	0,3292	0,2868	0,0767
	0,4548	0,3131	0,2714	0,0780
	0,4254	0,3638	0,3111	0,0792

Tab. 47 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování 10 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	0,9778	0,3067	0,2665	0,3873
	0,9704	0,2147	0,1935	0,3298
	1,0000	0,3900	0,3280	0,5729
2. týden	0,8370	0,1300	0,1212	0,1782
	0,8593	0,3013	0,2619	0,3925
	0,8889	0,3747	0,3171	0,5480
3. týden	0,7704	0,3980	0,3326	0,4821
	0,8000	0,2120	0,1912	0,3076
	0,7852	0,2907	0,2547	0,3741
4. týden	0,5876	0,2788	0,2459	0,0857
	0,5954	0,2844	0,2503	0,0882
	0,5806	0,1944	0,1776	0,0532
5. týden	0,6163	0,2924	0,2579	0,0899
	0,5728	0,2736	0,2408	0,0848
	0,6029	0,2018	0,1844	0,0552
6. týden	0,6195	0,2939	0,2592	0,0904
	0,5919	0,2827	0,2488	0,0877
	0,6030	0,2019	0,1845	0,0552
7. týden	0,5921	0,2809	0,2478	0,0864
	0,5854	0,2796	0,2461	0,0867
	0,5843	0,1956	0,1787	0,0535
8. týden	0,6198	0,2940	0,2594	0,0904
	0,5759	0,2750	0,2421	0,0853
	0,6032	0,2019	0,1845	0,0552

Tab. 48 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování 100 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	1,2222	0,3113	0,2673	0,1456
	1,2519	0,1853	0,1700	0,1387
	1,2444	0,2007	0,1824	0,1134
2. týden	1,0370	0,3313	0,2840	0,1564
	0,9704	0,2473	0,2170	0,1107
	0,9482	0,3740	0,3177	0,2137
3. týden	0,9704	0,1613	0,1496	0,0688
	0,9333	0,2553	0,2271	0,1114
	0,9185	0,2420	0,2133	0,1062
4. týden	0,7444	0,1838	0,1687	0,0772
	0,7196	0,1981	0,1808	0,0788
	0,7116	0,2269	0,2045	0,0872
5. týden	0,7754	0,1914	0,1757	0,0804
	0,7007	0,1929	0,1760	0,0768
	0,7170	0,2286	0,2060	0,0879
6. týden	0,7585	0,1873	0,1719	0,0787
	0,7031	0,1936	0,1766	0,0770
	0,7256	0,2313	0,2085	0,0889
7. týden	0,7868	0,1942	0,1783	0,0816
	0,6866	0,1890	0,1725	0,0752
	0,7243	0,2309	0,2081	0,0888
8. týden	0,7459	0,1841	0,1690	0,0774
	0,6853	0,1887	0,1721	0,0751
	0,7300	0,2327	0,2098	0,0895



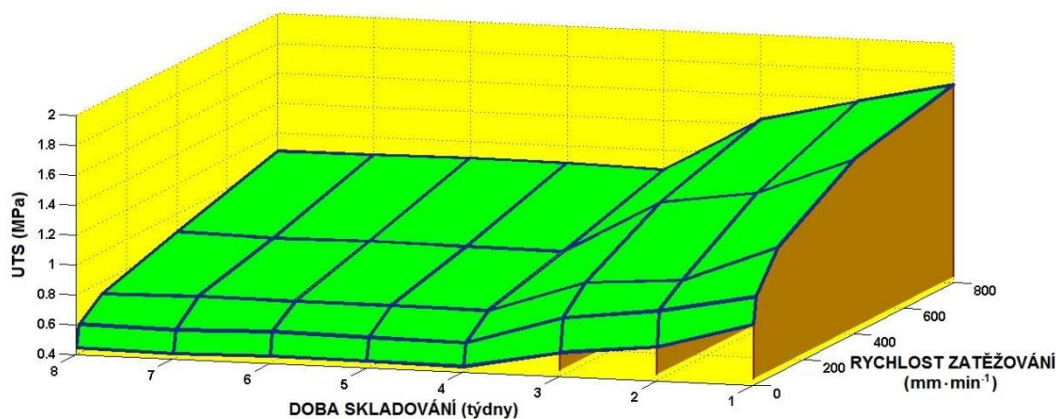
Tab. 49 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování 400 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	1,5333	0,2120	0,1923	0,1897
	1,5704	0,3187	0,2766	0,1731
	1,5926	0,1407	0,1316	0,1310
2. týden	1,3407	0,1507	0,1403	0,1347
	1,3259	0,1953	0,1784	0,1614
	1,2667	0,2933	0,2572	0,2013
3. týden	1,2074	0,2140	0,1939	0,1364
	1,2296	0,3120	0,2716	0,2097
	1,2296	0,2673	0,2369	0,1635
4. týden	0,9160	0,1956	0,1787	0,1234
	0,8556	0,2694	0,2385	0,1106
	0,8216	0,1863	0,1708	0,0840
5. týden	0,9533	0,2036	0,1859	0,1284
	0,8219	0,2588	0,2291	0,1062
	0,8307	0,1883	0,1727	0,0849
6. týden	0,9577	0,2045	0,1868	0,1290
	0,8468	0,2666	0,2361	0,1095
	0,8231	0,1866	0,1711	0,0842
7. týden	0,9569	0,2043	0,1866	0,1289
	0,8193	0,2580	0,2284	0,1059
	0,8248	0,1870	0,1715	0,0843
8. týden	0,9376	0,2002	0,1829	0,1263
	0,8539	0,2689	0,2381	0,1104
	0,8487	0,1924	0,1764	0,0868

Tab. 50 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování 800 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	1,7111	0,2227	0,2010	0,1434
	1,7185	0,2227	0,2010	0,1579
	1,7407	0,1513	0,1409	0,1238
2. týden	1,5630	0,2160	0,1956	0,1540
	1,5852	0,2333	0,2097	0,1665
	1,6000	0,2513	0,2242	0,2115
3. týden	1,4593	0,3960	0,3336	0,2102
	1,4222	0,3067	0,2675	0,1547
	1,4148	0,3600	0,3075	0,1946
4. týden	1,0802	0,2056	0,1870	0,1863
	1,0542	0,2588	0,2301	0,1702
	1,0748	0,2750	0,2430	0,1667
5. týden	1,1262	0,2144	0,1950	0,1942
	1,0128	0,2486	0,2211	0,1635
	1,1161	0,2856	0,2523	0,1731
6. týden	1,1291	0,2149	0,1955	0,1947
	1,0439	0,2562	0,2279	0,1686
	1,0895	0,2787	0,2463	0,1690
7. týden	1,0981	0,2090	0,1901	0,1894
	1,0467	0,2569	0,2285	0,1690
	1,1000	0,2814	0,2486	0,1706
8. týden	1,1243	0,2140	0,1946	0,1939
	1,0227	0,2510	0,2232	0,1651
	1,0845	0,2775	0,2451	0,1682

Na Obr. 87 je vynesena závislost meze pevnosti  $UTS$  na rychlosti zatížení a na době skladování.



Obr. 87 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na mez pevnosti blan slepičích vajec

Mez pevnosti roste s rychlostí zatěžování a je nerostoucí funkcí doby skladování. Vliv rychlosti zatěžování  $v$  je možné popsat funkcí:

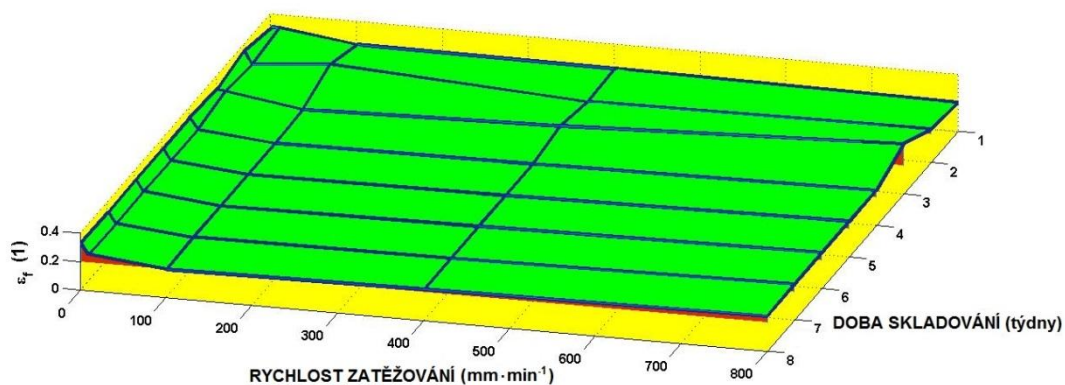
$$UTS(MPa) = a + bv^n,$$

kde  $v$  je dosazováno v jednotkách  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Parametry  $a$ ,  $b$ , této rovnice jsou obsahem Tab. 51 spolu s koeficientem korelace  $R^2$ .

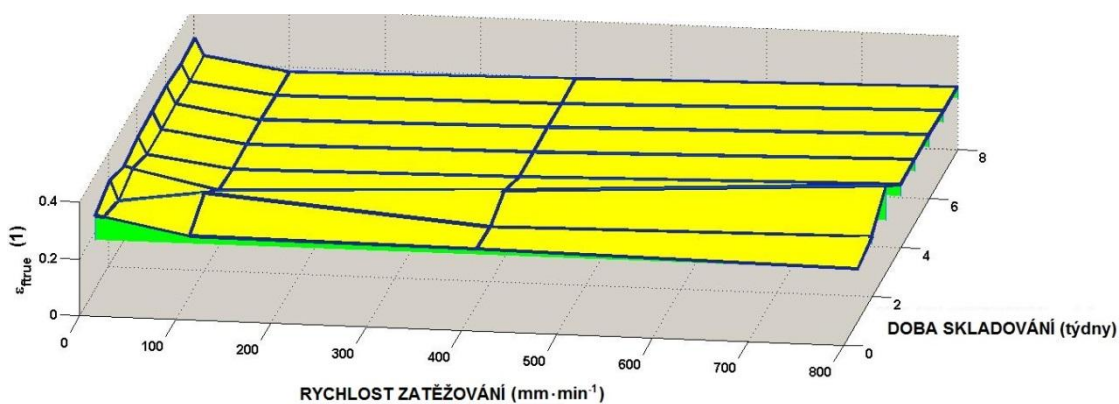
Tab. 51 Parametry rovnice popisující vliv rychlosti zatěžování na mez pevnosti blan slepičích vajec

Doba skladování	$a$ (MPa)	$b$ (MPa $\text{mm}^{-n}\text{min}^n$ )	$n$ (1)	$R^2$
1. týden	0,6217	0,1882	0,2655	0,9980
2. týden	0,6171	0,0611	0,4100	0,9784
3. týden	0,4650	0,1284	0,2993	0,9856
4. týden	0,3859	0,0778	0,3186	0,9781
5. týden	0,4029	0,0699	0,3339	0,9743
6. týden	0,4143	0,6512	0,3428	0,9748
7. týden	0,3843	0,0788	0,3193	0,9769
8. týden	0,4071	0,0672	0,3384	0,9794

Velikost lomové deformace v závislosti na době skladování a na rychlosti zatěžování je vynesena na Obr. 88 a Obr. 89.

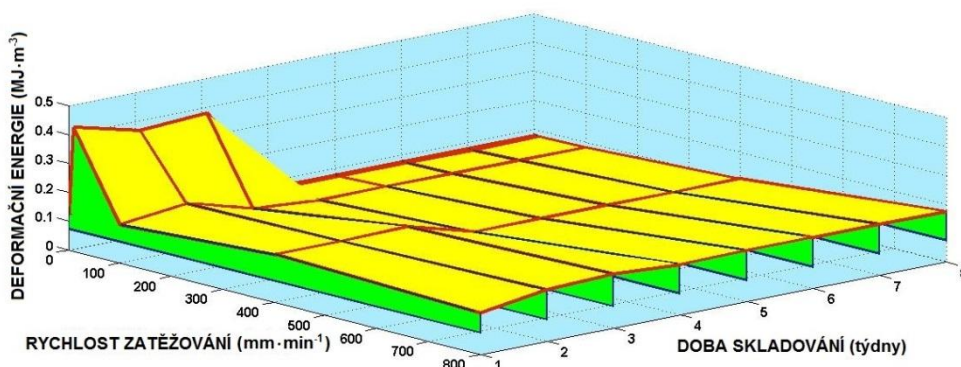


Obr. 88 Velikost deformace při lomu pro slepičí vejce



Obr. 89 Velikost skutečné deformace při lomu pro slepičí vejce

Je patrné, že velikost deformace klesá s rychlostí zatěžování. Její závislost na době skladování není jednoznačná. V podstatě totéž platí i pro deformační energii  $W$ , jak je uvedeno na Obr. 90.



Obr. 90 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na energii absorbovanou blanou až do lomu – pro slepičí vejce

### 5.4.2 Podskořápkové blány křepelčích vajec

V případě křepelčích vajec byl sledován vliv skladování po dobu 16 týdnů. Celkové údaje o lomových vlastnostech podskořápkových blan jsou obsahem Tab. 52 – Tab. 56.

Tab. 52 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Doba skladování	UTS (MPa)	$\varepsilon_f$ (1)	$\varepsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	0,8548	0,1840	0,1689	0,0801
	0,9305	0,2467	0,2205	0,1340
	0,8873	0,1920	0,1756	0,0857
2. týden	0,7721	0,1662	0,1526	0,0724
	0,8523	0,2259	0,2019	0,1227
	0,8041	0,1740	0,1592	0,0776
3. týden	0,6875	0,1480	0,1358	0,0644
	0,7802	0,2068	0,1849	0,1123
	0,7100	0,1536	0,1405	0,0685
4. týden	0,5493	0,1183	0,1085	0,0515
	0,5873	0,1557	0,1391	0,0846
	0,5479	0,1186	0,1085	0,0529
6. týden	0,5708	0,1229	0,1128	0,0535
	0,5987	0,1587	0,1419	0,0862
	0,5545	0,1200	0,1098	0,0535
8. týden	0,5343	0,1150	0,1056	0,0501
	0,5786	0,1534	0,1371	0,0833
	0,5275	0,1142	0,1044	0,0509
10. týden	0,5246	0,1129	0,1037	0,0492
	0,5717	0,1516	0,1355	0,0823
	0,5168	0,1118	0,1023	0,0499
12. týden	0,5360	0,1154	0,1059	0,0502
	0,6087	0,1613	0,1442	0,0876
	0,5324	0,1152	0,1054	0,0514
14. týden	0,5460	0,1175	0,1079	0,0512
	0,5765	0,1528	0,1366	0,0830
	0,5172	0,1119	0,1024	0,0499
16. týden	0,5329	0,1153	0,1055	0,0514
	0,5551	0,1189	0,1086	0,0540
	0,5753	0,1257	0,1144	0,0560

Tab. 53 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování 10 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	1,6988	0,2420	0,2167	0,3840
	1,7312	0,3113	0,2710	0,3553
	1,7529	0,2767	0,2443	0,3784
2. týden	1,5494	0,2207	0,1977	0,3503
	1,5672	0,2818	0,2454	0,3216
	1,6005	0,2526	0,2230	0,3455
3. týden	1,4181	0,2020	0,1809	0,3206
	1,3908	0,2501	0,2178	0,2854
	1,4303	0,2258	0,1993	0,3088
4. týden	1,0257	0,1461	0,1309	0,2319
	1,0595	0,1905	0,1659	0,2174
	1,0625	0,1677	0,1481	0,2294
6. týden	1,0325	0,1471	0,1317	0,2334
	1,1094	0,1995	0,1737	0,2277
	1,1133	0,1757	0,1551	0,2404
8. týden	1,0163	0,1448	0,1297	0,2298
	1,0400	0,1870	0,1628	0,2134
	1,0293	0,1625	0,1434	0,2222
10. týden	0,9583	0,1365	0,1223	0,2166
	0,9945	0,1789	0,1557	0,2041
	1,0216	0,1613	0,1424	0,2206
12. týden	1,0240	0,1459	0,1306	0,2315
	1,0251	0,1844	0,1605	0,2104
	1,0296	0,1625	0,1435	0,2223
14. týden	1,0195	0,1609	0,1421	0,2201
	1,0631	0,1705	0,1501	0,2283
	1,0768	0,1730	0,1518	0,2324
16. týden	1,0177	0,1450	0,1298	0,2301
	1,0489	0,1886	0,1642	0,2152
	1,0409	0,1643	0,1450	0,2247

Tab. 54 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování 100 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	2,2722	0,3733	0,3172	0,4055
	2,3588	0,3393	0,2922	0,5067
	2,3913	0,3413	0,2937	0,4932
2. týden	2,0655	0,3394	0,2884	0,3686
	2,1269	0,3060	0,2634	0,4569
	2,1631	0,3088	0,2656	0,4462
3. týden	1,8570	0,3051	0,2593	0,3314
	1,9730	0,2838	0,2444	0,4238
	1,9304	0,2756	0,2371	0,3982
4. týden	1,4108	0,2318	0,1970	0,2518
	1,4211	0,2044	0,1760	0,3053
	1,5427	0,2202	0,1895	0,3182
6. týden	1,4273	0,2345	0,1993	0,2547
	1,4462	0,2081	0,1791	0,3107
	1,6060	0,2293	0,1972	0,3313
8. týden	1,5051	0,2149	0,1848	0,3105
	1,5482	0,2208	0,1894	0,3156
	1,5262	0,2182	0,1866	0,3087
10. týden	1,3902	0,2284	0,1941	0,2481
	1,3912	0,2001	0,1723	0,2988
	1,4918	0,2130	0,1832	0,3077
12. týden	1,4481	0,2379	0,2022	0,2584
	1,4167	0,2038	0,1755	0,3043
	1,5548	0,2219	0,1909	0,3207
14. týden	1,3156	0,2162	0,1837	0,2348
	1,3667	0,1966	0,1693	0,2936
	1,4864	0,2122	0,1825	0,3066
16. týden	1,4062	0,2311	0,1963	0,2510
	1,3933	0,2004	0,1726	0,2993
	1,5198	0,2169	0,1866	0,3135

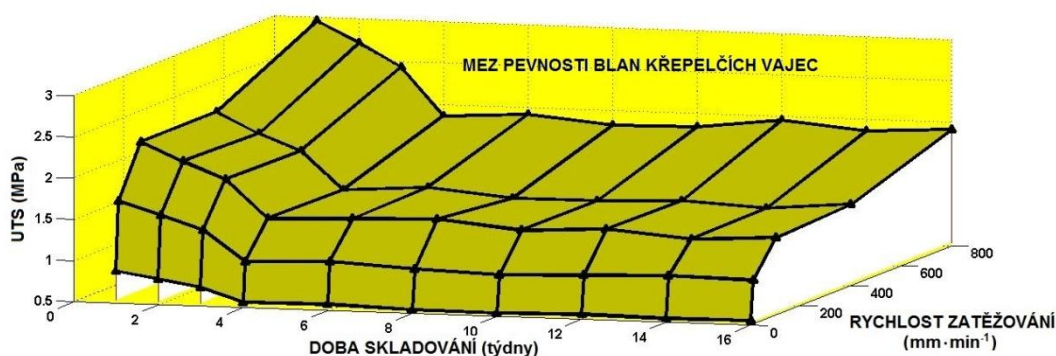
Tab. 55 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování 400 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	2,2335	0,3132	0,2628	0,5332
	2,3547	0,3198	0,2680	0,5573
	2,4215	0,3218	0,2686	0,5608
2. týden	2,0998	0,2749	0,2324	0,5069
	2,0476	0,2872	0,2409	0,4888
	2,1262	0,2888	0,2420	0,5033
3. týden	1,8860	0,2469	0,2087	0,4552
	1,9133	0,2683	0,2251	0,4568
	1,8999	0,2580	0,2162	0,4497
4. týden	1,4633	0,1916	0,1619	0,3532
	1,3611	0,1909	0,1602	0,3249
	1,5022	0,2040	0,1710	0,3556
6. týden	1,4837	0,1942	0,1642	0,3582
	1,4272	0,2001	0,1679	0,3407
	1,6113	0,2188	0,1834	0,3814
8. týden	1,4461	0,1893	0,1600	0,3491
	1,3376	0,1876	0,1574	0,3193
	1,4559	0,1977	0,1657	0,3446
10. týden	1,4076	0,1843	0,1558	0,3398
	1,3719	0,1924	0,1614	0,3275
	1,4642	0,1989	0,1667	0,3466
12. týden	1,4342	0,1877	0,1587	0,3462
	1,4066	0,1973	0,1655	0,3358
	1,5085	0,2049	0,1717	0,3571
14. týden	1,3990	0,1831	0,1548	0,3377
	1,3364	0,1874	0,1573	0,3190
	1,4516	0,1972	0,1652	0,3436
16. týden	1,5100	0,2051	0,1719	0,3574
	1,4650	0,1940	0,1623	0,3396
	1,4788	0,1965	0,1640	0,3425

Tab. 56 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování 800 mm·min<sup>-1</sup>

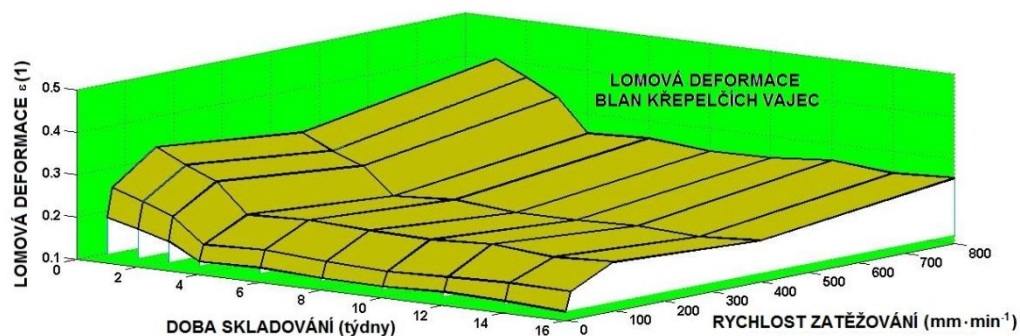
Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	2,9539	0,3867	0,3269	0,7130
	2,8998	0,4067	0,3412	0,6923
	3,0188	0,4100	0,3436	0,7145
2. týden	2,7073	0,3544	0,2996	0,6535
	2,6411	0,3704	0,3108	0,6305
	2,7771	0,3772	0,3161	0,6573
3. týden	2,3792	0,3114	0,2633	0,5743
	2,4207	0,3395	0,2848	0,5779
	2,4851	0,3375	0,2828	0,5882
4. týden	1,8446	0,2415	0,2041	0,4453
	1,7889	0,2509	0,2105	0,4271
	1,9472	0,2645	0,2216	0,4609
6. týden	1,8602	0,2435	0,2059	0,4490
	1,8469	0,2590	0,2173	0,4409
	2,0184	0,2741	0,2297	0,4777
8. týden	1,8164	0,2378	0,2010	0,4384
	1,7434	0,2445	0,2051	0,4162
	1,8974	0,2577	0,2160	0,4491
10. týden	1,8195	0,2382	0,2014	0,4392
	1,7606	0,2469	0,2072	0,4203
	1,9239	0,2613	0,2190	0,4554
12. týden	1,9668	0,2671	0,2239	0,4655
	1,9596	0,2594	0,2171	0,4543
	1,9274	0,2562	0,2138	0,4464
14. týden	1,8933	0,2571	0,2155	0,4481
	1,8842	0,2495	0,2087	0,4368
	1,7871	0,2375	0,1982	0,4138
16. týden	1,9276	0,2618	0,2194	0,4563
	1,8934	0,2507	0,2098	0,4389
	1,9084	0,2536	0,2117	0,4420

V grafické formě jsou výsledky uvedené v Tab. 52 – Tab. 56 vyneseny na Obr. 91 – Obr. 94.

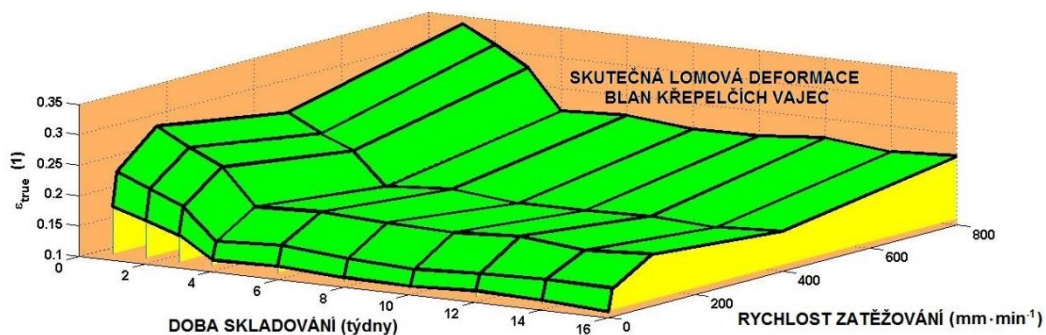


Obr. 91 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na mez pevnosti blan křepelčích vajec

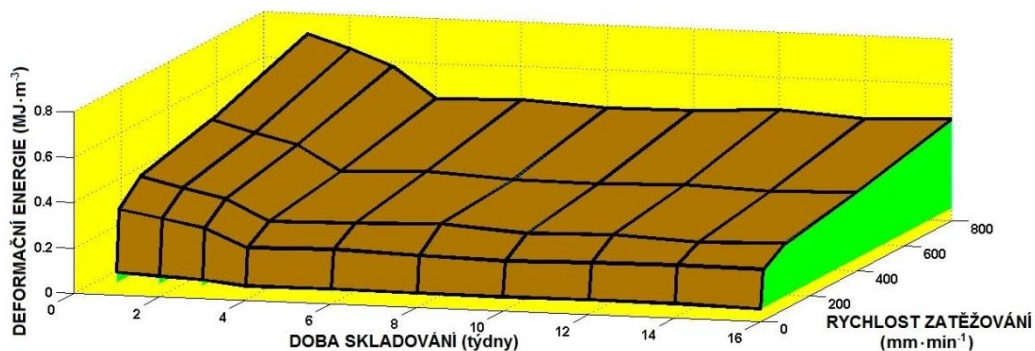




Obr. 92 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na lomovou deformaci blan křepelčích vajec



Obr. 93 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na skutečnou lomovou deformaci blan křepelčích vajec



Obr. 94 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na energii absorbovanou blanou až do lomu – pro křepelčí vejce

Jak je zřejmé z Obr. 91, mez pevnosti opět roste s rychlostí zatěžování. Tato závislost je popsána stejně jako v případě blan slepičích vajec funkcí:

$$UTS(MPa) = a + bv^n,$$

kde parametry  $a$ ,  $b$  jsou obsaženy v Tab. 57 spolu s korelačním koeficientem  $R^2$ .

Tab. 57 Parametry rovnice popisující vliv rychlosti zatěžování na mez pevnosti blan křepelčích vajec

Doba skladování	a (MPa)	b (MPamm <sup>-n</sup> min <sup>n</sup> )	n (1)	R <sup>2</sup>
1. týden	5,0790	-4,1670	-0,0876	0,9002
2. týden	4,8950	-4,0610	-0,0794	0,8765
3. týden	4,1480	-3,4040	-0,0880	0,8903
4. týden	4,5330	-3,9570	-0,0517	0,8866
6. týden	4,5270	-3,9380	-0,0542	0,9067
8. týden	2,7580	-2,1920	-0,1117	0,9326
10. týden	9,3460	-8,7960	-0,0212	0,8913
12. týden	-13,7900	14,3600	0,0123	0,8607
14. týden	7,0340	-6,4610	-0,0288	0,8546
16. týden	-228,3000	228,9000	0,0008	0,9052

Ve srovnání s výsledky pro blány slepičích vajec pozorujeme u blan křepelčích vajec růst deformace při lomu s rychlostí zatěžování stejně jako nárůst energie absorbované do lomu. Všechny tyto veličiny jsou pak klesající resp. nerostoucí funkcí doby skladování. Experimentální body je možné proložit funkcemi:

$$\varepsilon_f = av^b,$$

$$\varepsilon_{frue} = av^b,$$

$$W = av^b.$$

V Tab. 58 – Tab. 60 jsou obsaženy parametry uvedených závislostí spolu s koeficientem korelace R<sup>2</sup>.

Tab. 58 Parametry *a*, *b* popisující vliv rychlosti zatěžování na velikost lomové deformace blan křepelčích vajec

Doba skladování	a (1)	b (1)	R <sup>2</sup>
1. týden	0,2608	0,0595	0,7235
2. týden	0,2371	0,0597	0,6975
3. týden	0,2136	0,0608	0,7631
4. týden	0,1605	0,0646	0,7602
6. týden	0,1644	0,0677	0,8346
8. týden	0,1573	0,0626	0,7353
10. týden	0,1533	0,0692	0,7622
12. týden	0,1619	0,0647	0,7388
14. týden	0,1503	0,0684	0,7896
16. týden	0,1423	0,0848	0,8025

Tab. 59 Parametry  $a$ ,  $b$  popisující vliv rychlosti zatěžování na velikost skutečné lomové deformace blan křepelčích vajec

Doba skladování	$a$	$b$	$R^2$
1. týden	0,2321	0,0499	0,9438
2. týden	0,2110	0,0502	0,6240
3. týden	0,1901	0,0515	0,7014
4. týden	0,1430	0,0550	0,6992
6. týden	0,1464	0,0580	0,7877
8. týden	0,1404	0,0529	0,6843
10. týden	0,1365	0,0595	0,7058
12. týden	0,1443	0,0549	0,6140
14. týden	0,1346	0,0578	0,7305
16. týden	0,1275	0,0743	0,7656

Tab. 60 Parametry  $a$ ,  $b$  popisující vliv rychlosti zatěžování na velikost deformační energie blan křepelčích vajec

Doba skladování	$a$ ( $\text{MJm}^{-b}\text{s}^b$ )	$b$ (1)	$R^2$
1. týden	0,1987	0,1863	0,9298
2. týden	0,1798	0,1877	0,9264
3. týden	0,1659	0,1834	0,9224
4. týden	0,1189	0,1966	0,9433
6. týden	0,1219	0,1999	0,9514
8. týden	0,1239	0,1882	0,9374
10. týden	0,1128	0,2021	0,9483
12. týden	0,1198	0,1966	0,9459
14. týden	0,1173	0,1935	0,9318
16. týden	0,1072	0,2128	0,9278

#### 5.4.3 Podskořápkové blány husích vajec

Blány husích vajec byly sledovány v 1., 2., 3., 4., 6. a 8. týdnu skladování. Vliv rychlosti zatěžování na sledované veličiny popisující pevnost blan je dokumentován v Tab. 61 – Tab. 65.

Tab. 61 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	1,9201	0,2919	0,2561	0,2802
	1,9833	0,2835	0,2496	0,2811
	1,9681	0,2765	0,2441	0,2721
	1,9725	0,2801	0,2470	0,2763
	2,0143	0,2911	0,2555	0,2932
2. týden	1,7658	0,2684	0,2355	0,2577
	1,7870	0,2554	0,2249	0,2533
	1,8215	0,2559	0,2259	0,2518
	1,8306	0,2600	0,2292	0,2564
	1,8539	0,2679	0,2352	0,2699
3. týden	1,5737	0,2392	0,2099	0,2297
	1,6219	0,2318	0,2041	0,2299
	1,6254	0,2283	0,2016	0,2247
	1,6340	0,2320	0,2046	0,2289
	1,6723	0,2417	0,2121	0,2434
4. týden	1,2650	0,1923	0,1687	0,1846
	1,2253	0,1751	0,1542	0,1737
	1,2931	0,1816	0,1604	0,1787
	1,2172	0,1728	0,1524	0,1705
	1,3396	0,1936	0,1699	0,1950
6. týden	0,9850	0,1497	0,1314	0,1437
	1,1044	0,1579	0,1390	0,1565
	1,0764	0,1512	0,1335	0,1488
	0,9886	0,1404	0,1238	0,1385
	1,0751	0,1554	0,1364	0,1565
8. týden	0,8090	0,1230	0,1079	0,1181
	1,1748	0,1679	0,1478	0,1665
	0,7891	0,1108	0,0979	0,1091
	1,0947	0,1555	0,1371	0,1533
	1,1350	0,1640	0,1440	0,1652

Tab. 62 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení 10 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	2,5295	0,3894	0,3289	0,4925
	2,6005	0,3906	0,3298	0,5079
	2,5786	0,3769	0,3198	0,4859
	2,6247	0,3802	0,3222	0,4989
	2,5831	0,3907	0,3298	0,5046
2. týden	2,2873	0,3521	0,2974	0,4453
	2,3734	0,3565	0,3010	0,4635
	2,3916	0,3495	0,2966	0,4506
	2,4246	0,3512	0,2977	0,4609
	2,3992	0,3629	0,3063	0,4687
3. týden	2,0680	0,3183	0,2689	0,4026
	2,1201	0,3185	0,2688	0,4141
	2,1419	0,3130	0,2656	0,4036
	2,1832	0,3162	0,2680	0,4150
	2,0858	0,3155	0,2663	0,4075
4. týden	1,6876	0,2598	0,2194	0,3285
	1,6599	0,2493	0,2105	0,3242
	1,5722	0,2298	0,1950	0,2962
	1,6023	0,2321	0,1967	0,3046
	1,5964	0,2415	0,2038	0,3119
6. týden	1,2839	0,1976	0,1669	0,2500
	1,3143	0,1974	0,1667	0,2567
	1,4262	0,2084	0,1769	0,2687
	1,5169	0,2197	0,1862	0,2883
	1,5328	0,2319	0,1957	0,2995
8. týden	1,4296	0,2201	0,1859	0,2783
	1,3202	0,1983	0,1674	0,2579
	1,5452	0,2258	0,1916	0,2912
	1,0909	0,1580	0,1339	0,2074
	1,2619	0,1909	0,1611	0,2465

Tab. 63 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení  $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	2,7691	0,3894	0,3289	0,5391
	2,6343	0,4294	0,3572	0,5655
	2,7958	0,3813	0,3230	0,5329
	2,9200	0,4125	0,3454	0,6023
	2,8224	0,4081	0,3423	0,5759
2. týden	2,5599	0,3600	0,3040	0,4984
	2,4424	0,3981	0,3312	0,5244
	2,5268	0,3446	0,2919	0,4817
	2,7080	0,3826	0,3203	0,5585
	2,5937	0,3751	0,3145	0,5293
3. týden	2,2992	0,3233	0,2731	0,4476
	2,1857	0,3563	0,2964	0,4692
	2,2805	0,3110	0,2635	0,4347
	2,4126	0,3408	0,2853	0,4976
	2,2772	0,3293	0,2762	0,4647
4. týden	1,7150	0,2411	0,2037	0,3339
	1,7059	0,2781	0,2314	0,3662
	1,8057	0,2462	0,2086	0,3442
	1,7853	0,2522	0,2111	0,3682
	1,7169	0,2483	0,2082	0,3504
6. týden	1,4815	0,2083	0,1759	0,2884
	1,3689	0,2231	0,1856	0,2939
	1,4681	0,2002	0,1696	0,2799
	1,6399	0,2317	0,1940	0,3382
	1,5448	0,2234	0,1873	0,3152
8. týden	1,1975	0,1684	0,1422	0,2331
	1,4722	0,2400	0,1996	0,3161
	1,2923	0,1762	0,1493	0,2463
	1,4767	0,2086	0,1747	0,3046
	1,2225	0,1768	0,1482	0,2495

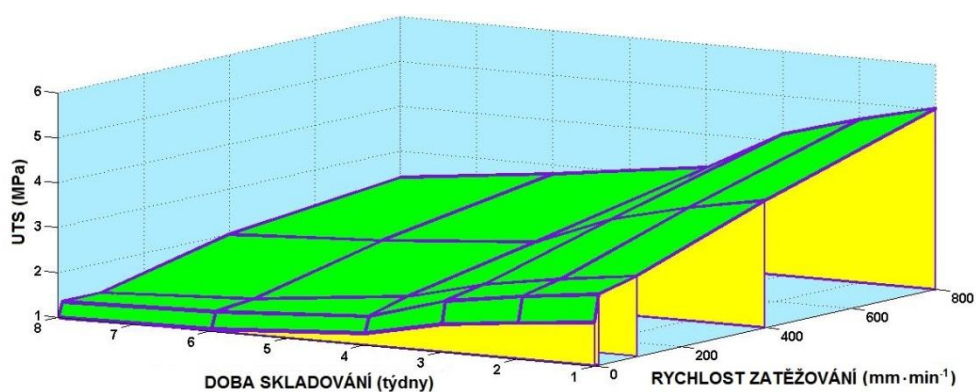
Tab. 64 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení 400 mm·min<sup>-1</sup>

Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	3,8307	0,5186	0,4178	0,9934
	3,9101	0,5344	0,4281	1,0447
	3,8662	0,5294	0,4249	1,0233
	3,8243	0,5088	0,4113	0,9729
	3,7664	0,5164	0,4163	0,9725
2. týden	3,4588	0,4683	0,3773	0,8969
	3,5518	0,4854	0,3889	0,9490
	3,5430	0,4851	0,3893	0,9378
	3,5517	0,4725	0,3820	0,9035
	3,4988	0,4797	0,3867	0,9034
3. týden	3,1727	0,4296	0,3460	0,8227
	3,1331	0,4282	0,3430	0,8371
	3,1358	0,4294	0,3446	0,8300
	3,0665	0,4080	0,3298	0,7801
	3,0278	0,4151	0,3347	0,7817
4. týden	2,4320	0,3293	0,2653	0,6307
	2,6088	0,3565	0,2856	0,6970
	2,4118	0,3302	0,2650	0,6384
	2,4512	0,3261	0,2636	0,6236
	2,3188	0,3179	0,2563	0,5987
6. týden	2,0500	0,2776	0,2236	0,5316
	2,2799	0,3116	0,2496	0,6092
	2,1594	0,2957	0,2373	0,5716
	2,1224	0,2824	0,2283	0,5399
	2,2287	0,3056	0,2464	0,5754
8. týden	1,9935	0,2699	0,2174	0,5169
	1,7697	0,2419	0,1938	0,4728
	2,0522	0,2810	0,2255	0,5432
	2,0568	0,2736	0,2212	0,5233
	2,0701	0,2838	0,2288	0,5345

Tab. 65 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení 800 mm·min<sup>-1</sup>

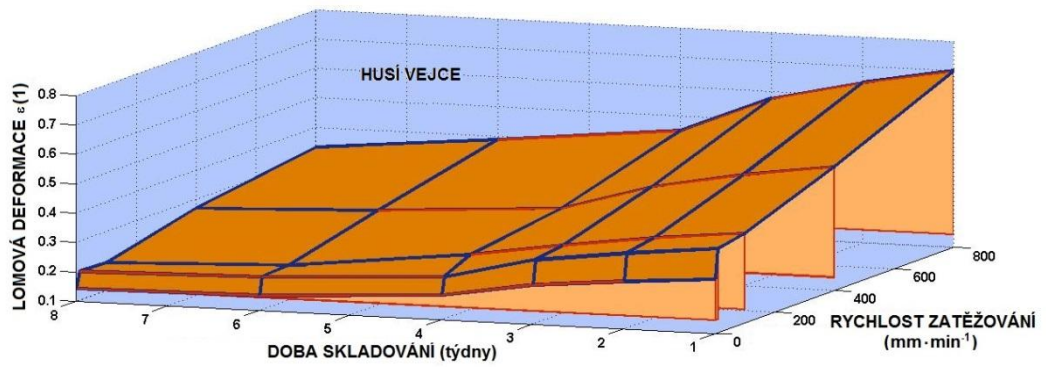
Doba skladování	UTS (MPa)	$\epsilon_f$ (1)	$\epsilon_{ftrue}$ (1)	W (MJ·m <sup>-3</sup> )
1. týden	5,7513	0,7044	0,5332	2,0255
	4,3135	0,6913	0,5255	1,4908
	4,8256	0,7024	0,5321	1,6948
	5,2315	0,6935	0,5268	1,8141
	5,0833	0,7124	0,5379	1,8107
2. týden	5,2034	0,6373	0,4824	1,8326
	4,0077	0,6423	0,4882	1,3852
	4,4816	0,6524	0,4941	1,5740
	4,7845	0,6343	0,4818	1,6591
	4,6970	0,6583	0,4970	1,6731
3. týden	4,7905	0,5867	0,4441	1,6871
	3,5707	0,5722	0,4350	1,2341
	3,9217	0,5709	0,4324	1,3773
	4,3841	0,5812	0,4415	1,5202
	4,0736	0,5709	0,4311	1,4511
4. týden	3,7532	0,4597	0,3480	1,3218
	2,6651	0,4271	0,3247	0,9211
	3,0662	0,4463	0,3381	1,0769
	3,3949	0,4501	0,3419	1,1772
	3,3670	0,4719	0,3563	1,1994
6. týden	3,0400	0,3723	0,2818	1,0707
	2,4833	0,3980	0,3025	0,8583
	2,7765	0,4042	0,3061	0,9751
	2,8148	0,3731	0,2834	0,9761
	2,8303	0,3967	0,2995	1,0082
8. týden	2,8188	0,3452	0,2613	0,9927
	1,7977	0,2881	0,2190	0,6213
	2,1512	0,3131	0,2372	0,7555
	3,0482	0,4041	0,3070	1,0570
	2,1882	0,3067	0,2316	0,7795

Graficky jsou dané výsledky znázorněny na Obr. 95 – Obr. 98.

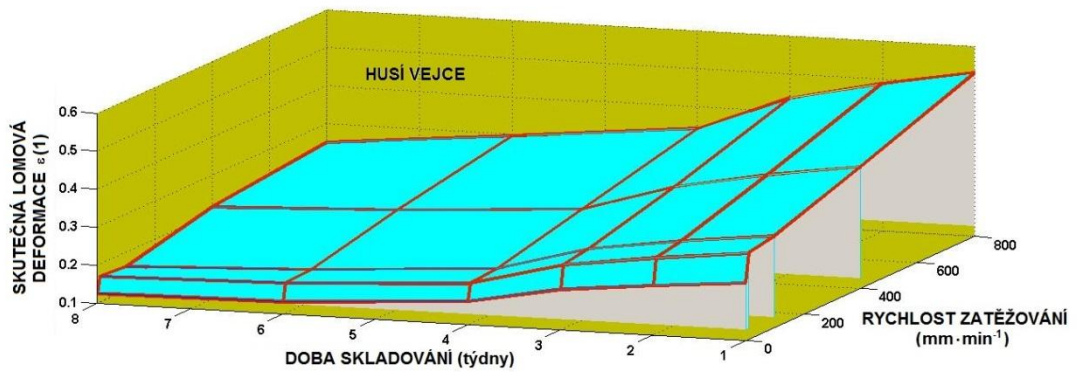


Obr. 95 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na mez pevnosti blan husích vajec

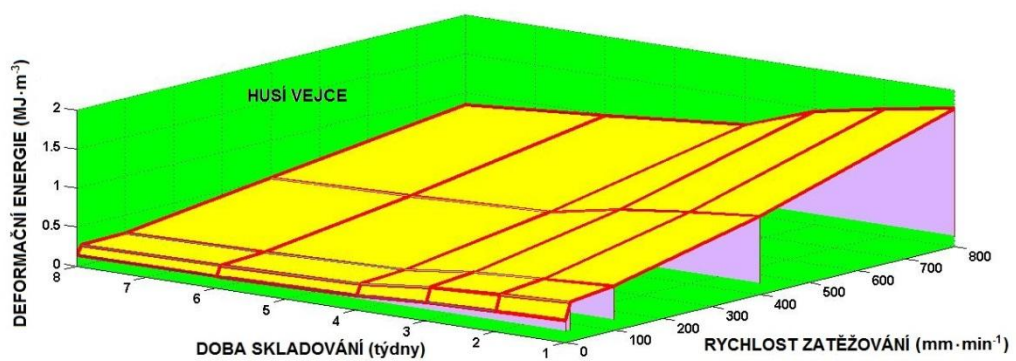




Obr. 96 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na lomovou deformaci blan husích vajec



Obr. 97 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na skutečnou lomovou deformaci blan husích vajec



Obr. 98 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na deformační energii blan husích vajec

Je zřejmé, že veškeré veličiny, které charakterizují lom blan husích vajec, rostou s rychlostí zatížení  $v$ , a klesají s dobou skladování. Příslušné funkční vztahy a hodnoty jejich parametrů uvádí Tab. 66 – Tab. 69.

Tab. 66 Vliv rychlosti zatěžování na mez pevnosti blan husích vajec,

$$UTS(MPa) = a + bv^n$$

Doba skladování	a (MPa)	b (MPamm <sup>-n</sup> min <sup>n</sup> )	n (1)	R <sup>2</sup>
1. týden	2,1710	0,0248	0,7088	0,9522
2. týden	1,9980	0,0223	0,7122	0,9520
3. týden	1,8040	0,0155	0,7485	0,9507
4. týden	1,3740	0,0222	0,6601	0,9798
6. týden	1,1520	0,0187	0,6691	0,9480
8. týden	1,0800	0,0190	0,6357	0,9212

Tab. 67 Vliv rychlosti zatěžování na lomovou deformaci blan husích vajec,  $\varepsilon = av + b$

Doba skladování	a (1)	b (s·m <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
1. týden	0,00045	0,3403	0,9490
2. týden	0,00042	0,3128	0,9488
3. týden	0,00037	0,2789	0,9495
4. týden	0,00030	0,2146	0,9599
6. týden	0,00026	0,1840	0,9461
8. týden	0,00016	1,1870	0,9368

Tab. 68 Vliv rychlosti zatěžování na skutečnou lomovou deformaci blan husích vajec,

$$\varepsilon = av + b$$

Doba skladování	a (1)	b (s·m <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
1. týden	0,00035	0,2903	0,9328
2. týden	0,00032	0,2728	0,9357
3. týden	0,00036	0,2632	0,9512
4. týden	0,00027	0,1938	0,9611
6. týden	0,00024	0,1642	0,9532
8. týden	0,00017	0,1153	0,9426

Tab. 69 Vliv rychlosti zatěžování na deformační energii blan husích vajec,  $W = a + bv^n$

Doba skladování	a (MJ·m <sup>-3</sup> )	b (MJm <sup>-n-3</sup> s <sup>n</sup> )	n (1)	R <sup>2</sup>
1. týden	0,3887	0,00095	1,0880	0,9831
2. týden	0,3580	0,00084	1,0930	0,9829
3. týden	0,3224	0,00061	1,1250	0,9652
4. týden	0,2470	0,00050	1,1190	0,9850
6. týden	0,2067	0,00072	1,0430	0,9838
8. týden	0,1901	0,00096	0,9694	0,9819

#### 5.4.4 Shrnutí výsledků o pevnosti podskořápkových blan vajec

Celkově z výsledků vyplývá, že mez pevnosti podskořápkových blan všech sledovaných vajec roste s rychlostí zatěžování. Tento nárůst je nejvýraznější pro menší hodnoty daných rychlostí. Nejpevnější jsou blány husích vajec a nejmenší pevnost vykazují blány slepičích vajec. Mez pevnosti pak klesá s dobou skladování. Obdobnou závislost vykazují blány křepelčích a husích vajec. Blány slepičích vajec se chovají poněkud odlišně. Pokles lomové deformace s dobou skladování u nich není příliš přesvědčivý a velikost této veličiny s rychlostí deformace klesá.

#### 5.5 Nedestruktivní rázové zatěžování vajec

Nedestruktivní rázové zatěžování vajec bylo realizováno pomocí zařízení, které bylo popsáno v kapitole 4.2.5. Vejce bylo zatěžováno rázem duralového razníku na tupý konec a výchylka povrchu skořápky byla detekována na rovníku. Tímto způsobem byly získány časové průběhy zatěžující síly  $F(t)$  a posunutí  $p(t)$ . Tyto záznamy byly hodnoceny jak v časové, tak i ve frekvenční oblasti. Základem analýzy ve frekvenční oblasti je Fourierova transformace, kdy časové funkci, např.  $f(t)$  přiřazujeme její spektrální funkci  $F(\omega)$  pomocí Stein a Shakarchi (2003):

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt,$$

kde  $\omega$  je úhlová frekvence. Funkci  $f$  pak můžeme vyjádřit pomocí:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega,$$

$$F(\omega) = \operatorname{Re}(F) + i \operatorname{Im}(F),$$

$$\text{amplitude} = \sqrt{\operatorname{Re}(F)^2 + \operatorname{Im}(F)^2},$$

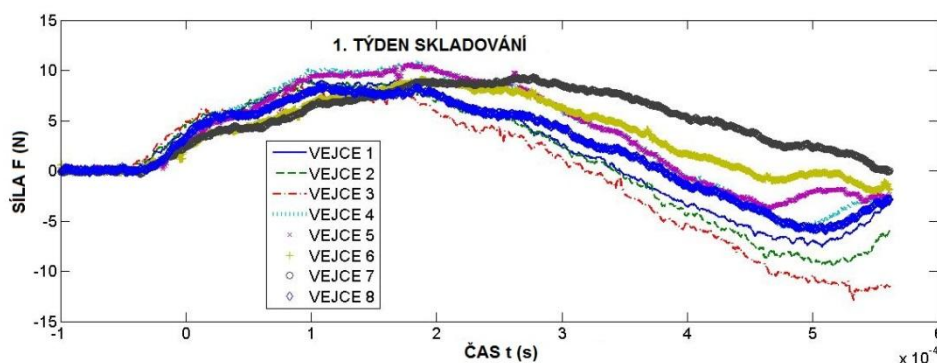
$$\text{phase} = \arctan \left[ \frac{\operatorname{Im}(F)}{\operatorname{Re}(F)} \right].$$

Spektrální funkce je obecně komplexní a je tak charakterizována amplitudou a fází. V praxi se většinou nezaznamenává spojitý průběh funkce  $f(t)$  – např. závislost výchylky na čase, ale diskrétní hodnoty. Jedná se tak o diskrétní Fourierovu transformaci a pro její realizaci je používáno algoritmu, který je označován jako rychlá Fourierova transformace (FFT – Fast Fourier Transformation). Razník byl spouštěn z takové výšky, aby nedošlo k porušení skořápky (trhliny, lom). Experimenty byly

realizovány v jednotlivých týdnech skladování. S ohledem na různé doby skladování jsou výsledky uváděny zvláště pro vejce slepičí, křepelčí a husí.

### 5.5.1 Nedestruktivní rázové zatěžování slepičích vajec

V tomto případě se ukazuje, že k porušení vajec nedojde, pokud je výška dopadu menší jak 20 mm. V rámci experimentů tak byla zvolena výška 10 mm. Rázové zatěžování bylo realizováno na 10 vejcích. Na Obr. 99 jsou uvedeny záznamy síly v místě kontaktu tyč – povrch skořápky stanovené pro jednotlivá vejce v prvním týdnu skladování.



Obr. 99 Časové průběhy rázových sil pro slepičí vejce

Ukazuje se, že průběh síly zhruba odpovídá polovině sinusoidy. Ze záznamů byly vyhodnocovány tyto veličiny:

1. Maximální hodnota síly  $F_{max}$ .
2. Čas dosažení této síly  $t_f$ .
3. Doba trvání silového pulsu  $\lambda$ .
4. Velikost impulsu síly  $I = \int_0^{\lambda} F(t) dt$ .

Parametry 1 – 4 jsou uvedeny v Tab. 70 – Tab. 77.

Tab. 70 Parametry časového průběhu rázové síly v 1. týdnu skladování – slepičí vejce

$t_f$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00009	9,1175	0,00039	0,0022
0,00009	8,9126	0,00039	0,0022
0,00009	8,6053	0,00037	0,0019
0,00018	10,9001	0,00043	0,0029
0,00018	10,5415	0,00040	0,0028
0,00019	9,1175	0,00048	0,0025
0,00028	9,3224	0,00059	0,0033
0,00011	8,4004	0,00042	0,0022
0,00018	11,4942	0,00045	0,0032
0,00010	9,3839	0,00033	0,0034

Tab. 71 Parametry časového průběhu rázové síly ve 2. týdnu skladování – slepičí vejce

$t_1$ (s)	$F_{\max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00009	8,7388	0,00034	0,0018
0,00017	8,5424	0,00041	0,0022
0,00017	8,2478	0,00054	0,0023
0,00010	10,4473	0,00037	0,0025
0,00018	10,1036	0,00045	0,0028
0,00025	8,7388	0,00066	0,0030
0,00034	8,9351	0,00074	0,0037
0,00018	8,0515	0,00040	0,0020
0,00018	11,0167	0,00042	0,0029
0,00018	8,9941	0,00060	0,0024

Tab. 72 Parametry časového průběhu rázové síly ve 3. týdnu skladování – slepičí vejce

$t_1$ (s)	$F_{\max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00022	8,9170	0,00057	0,0030
0,00017	8,7166	0,00057	0,0022
0,00018	8,4160	0,00058	0,0022
0,00011	10,6603	0,00035	0,0023
0,00010	10,3096	0,00048	0,0025
0,00010	8,9170	0,00034	0,0020
0,00010	9,1173	0,00041	0,0030
0,00010	8,2156	0,00052	0,0018
0,00010	11,2414	0,00050	0,0024
0,00010	9,1774	0,00033	0,0018

Tab. 73 Parametry časového průběhu rázové síly ve 4. týdnu skladování – slepičí vejce

$t_1$ (s)	$F_{\max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00023	9,2377	0,00057	0,0030
0,00022	9,0301	0,00041	0,0023
0,00027	8,7187	0,00047	0,0023
0,00022	11,0437	0,00038	0,0027
0,00022	10,6804	0,00046	0,0029
0,00030	9,2377	0,00048	0,0029
0,00054	9,4453	0,00047	0,0030
0,00022	8,5111	0,00044	0,0022
0,00022	11,6457	0,00043	0,0031
0,00021	9,5075	0,00039	0,0022

Tab. 74 Parametry časového průběhu rázové síly v 5. týdnu skladování – slepičí vejce

$t_1$ (s)	$F_{\max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00032	8,8704	0,00077	0,0030
0,00022	8,7000	0,00048	0,0027
0,00030	8,4212	0,00056	0,0030
0,00022	10,6619	0,00042	0,0027
0,00026	10,2583	0,00045	0,0026
0,00032	8,8736	0,00042	0,0025
0,00006	9,0539	0,00024	0,0010
0,00042	8,1834	0,00059	0,0021
0,00014	11,2486	0,00035	0,0024
0,00016	9,1600	0,00041	0,0022

Tab. 75 Parametry časového průběhu rázové síly v 6. týdnu skladování – slepičí vejce

$t_1$ (s)	$F_{\max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00023	9,6255	0,00050	0,0027
0,00028	9,0068	0,00047	0,0018
0,00017	8,9027	0,00038	0,0019
0,00034	11,8272	0,00054	0,0025
0,00041	10,6800	0,00060	0,0026
0,00024	9,9646	0,00048	0,0026
0,00069	9,8522	0,00066	0,0026
0,00022	9,2080	0,00038	0,0021
0,00014	11,6378	0,00039	0,0029
0,00017	9,8181	0,00036	0,0021

Tab. 76 Parametry časového průběhu rázové síly v 7. týdnu skladování – slepičí vejce

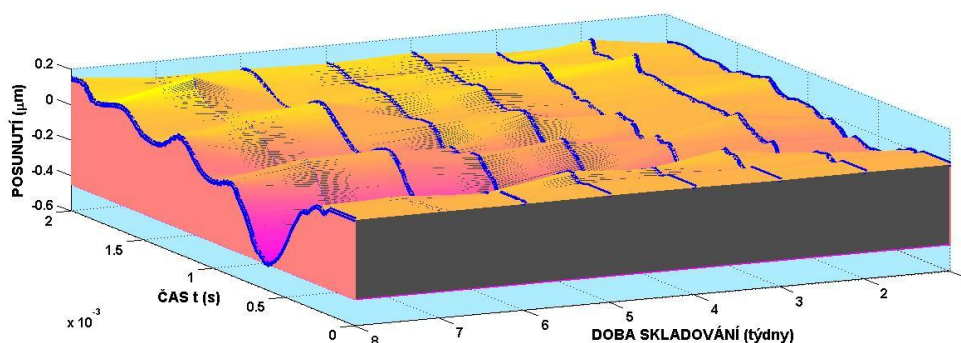
$t_1$ (s)	$F_{\max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00040	9,1504	0,00074	0,0025
0,00022	9,5241	0,00041	0,0024
0,00032	8,6331	0,00058	0,0023
0,00032	11,4354	0,00049	0,0022
0,00038	11,2550	0,00074	0,0041
0,00021	9,7678	0,00035	0,0022
0,00054	9,2447	0,00051	0,0025
0,00038	8,5783	0,00069	0,0030
0,00038	11,6531	0,00059	0,0032
0,00023	9,8133	0,00051	0,0030

Tab. 77 Parametry časového průběhu rázové síly v 8. týdnu skladování – slepičí vejce

$t_1$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00022	9,0593	0,00052	0,0024
0,00014	8,4590	0,00039	0,0020
0,00022	8,0952	0,00042	0,0020
0,00022	10,3790	0,00039	0,0026
0,00049	10,1527	0,00057	0,0028
0,00041	8,9631	0,00070	0,0030
0,00046	8,8034	0,00052	0,0027
0,00013	8,0428	0,00034	0,0016
0,00019	11,1668	0,00039	0,0025
0,00048	8,9495	0,00053	0,0022

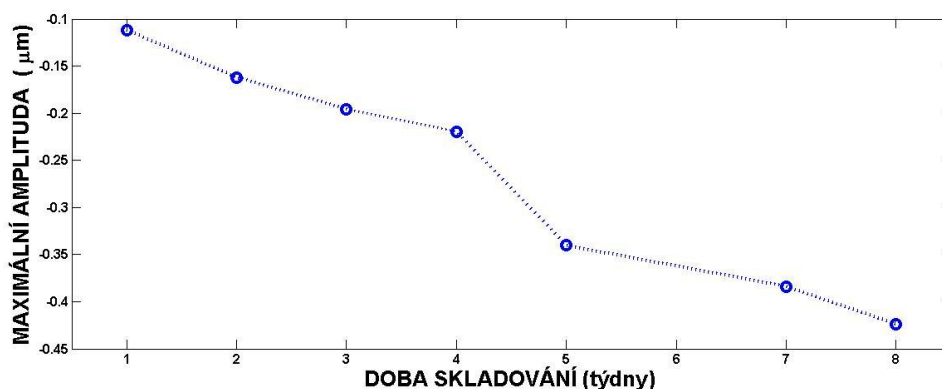
Statistické vyhodnocení získaných údajů ukazuje, že rozdíly mezi jednotlivými týdny nejsou statisticky významné, tzn. že vejce jsou v jednotlivých týdnech zatěžovány stejnou silou.

Odezva v časové oblasti je dána průběhem výchylky povrchu vaječné skořápky. Na Obr. 100 jsou vyneseny časové průběhy výchylky v jednotlivých týdnech skladování.



Obr. 100 Průběhy výchylky povrchu vaječné skořápky slepičích vajec

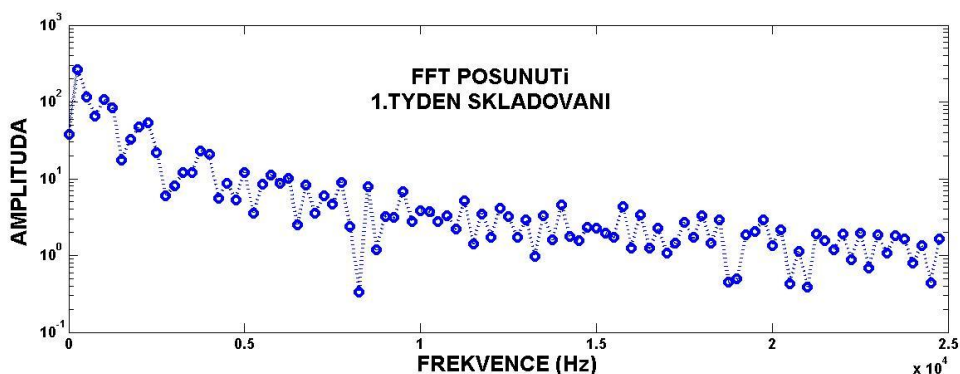
Absolutní hodnota výchylky vykazuje maximum (amplitudu), které se zvětšuje v průběhu skladování, jak uvádí Obr. 101.



Obr. 101 Vývoj amplitudy výchylky s dobou skladování – slepičí vejce

Pro interpretaci tohoto výsledku jsou uvažovány poznatky z kapitoly 5.2, kdy se ukazuje, že s dobou skladování klesá viskozita vaječných tekutin. Po dopadu razníku vzniká vlna napětí, která se šíří ve skořápce a po určité dráze ve skořápce v kontaktu s bílkem. Tento problém byl v analytické podobě řešen pro případ rovinné desky uložené na kapalině neomezené hloubky (Antuono a Colagrossi, 2013). Ukazuje se, že útlum této vlny, tzn. pokles její amplitudy ve směru šíření, roste s viskozitou kapaliny. I když náš případ má zcela jinou geometrii, kdy řešení je třeba založit na numerických metodách, kvalitativní závěry zůstávají v platnosti.

Dále byly stanoveny spektrální funkce metodou Fourierovy transformace. Příklad amplitudy spektrální funkce je vyneseno na Obr. 102.



Obr. 102 Frekvenční závislost spektrální funkce posunutí – slepičí vejce

Závislost amplitudy spektrální funkce na frekvenci je charakterizována maximem. Frekvenci  $\omega_r$ , při které dochází k tomuto maximu, nazýváme rezonanční nebo též dominantní frekvencí. Její velikost roste s dobou skladování pomocí funkce:

$$\omega_k (s^{-1}) = 80 + 121.7t^{0.75},$$

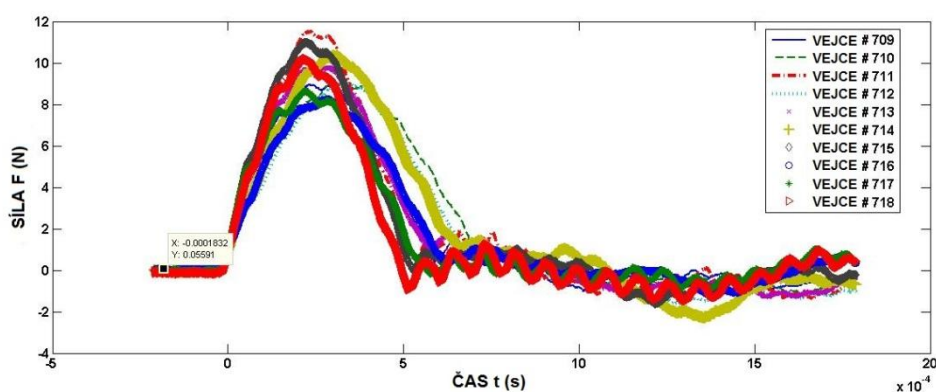


kde  $t$  je doba skladování v týdnech.

Získané poznatky ukazují, že použitá metoda nedestruktivního rázového zatěžování umožňuje stanovit dobu skladování nedestruktivním způsobem.

### 5.5.2 Nedestruktivní rázové zatěžování křepelčích vajec

Odezva křepelčích vajec byla sledována v 1., 2., 3., 4., 6., 8., 10., 12., 14. a 16. týdnu skladování. Vždy bylo sledováno 10 vajec. Razník byl opět spouštěn z výšky 10 mm. Při těchto podmínkách nedocházelo k porušení vaječné skořápky. Na Obr. 103 jsou uvedeny časové průběhy rázové síly pro 2. týden skladování, kdy je patrné, že časová závislost rázové síly má charakter „poloviční“ sinusoidy. Průběhy rázových sil ve všech týdnech skladování vykazují tento kvalitativní charakter. Ukazuje se určitý rozptyl, který je popsán v Tab. 78 – Tab. 82 pomocí veličin uvedených v bodech 1 – 4 na začátku předcházející kapitoly 5.5.1. Jsou uvedeny jen některé týdny skladování s ohledem na skutečnost, že rozdíly mezi sledovanými parametry v jednotlivých týdnech skladování nejsou statisticky významné.



Obr. 103 Časové průběhy rázových sil pro křepelčí vejce ve 2. týdnu skladování

Tab. 78 Parametry časového průběhu rázové síly v 1. týdnu skladování – křepelčí vejce

$t_1$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00051	8,9615	0,00107	0,0037
0,00051	9,1372	0,00117	0,0043
0,00044	11,5334	0,00108	0,0041
0,00053	8,9935	0,00121	0,0041
0,00050	9,7922	0,00112	0,0040
0,00051	10,3832	0,00129	0,0045
0,00043	10,9982	0,00124	0,0039
0,00049	8,2587	0,00107	0,0035
0,00043	8,6261	0,00078	0,0033
0,00043	10,2155	0,00071	0,0034

Tab. 79 Parametry časového průběhu rázové síly ve 4. týdnu skladování – křepelčí vejce

$t_I$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00047	8,5302	0,00115	0,0044
0,00034	11,7410	0,00107	0,0046
0,00041	9,1452	0,00118	0,0043
0,00032	9,4487	0,00062	0,0034
0,00032	7,0606	0,00099	0,0039
0,00027	7,4919	0,00058	0,0029
0,00031	10,2874	0,00057	0,0037
0,00030	8,0111	0,00063	0,0032
0,00030	8,7219	0,00100	0,0035
0,00029	11,5653	0,00107	0,0043

Tab. 80 Parametry časového průběhu rázové síly v 8. týdnu skladování – křepelčí vejce

$t_I$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00049	8,7459	0,00081	0,0035
0,00041	10,6388	0,00065	0,0034
0,00051	9,8401	0,00088	0,0046
0,00048	8,0670	0,00084	0,0035
0,00043	12,0126	0,00071	0,0041
0,00049	8,7459	0,00076	0,0032
0,00041	11,3097	0,00068	0,0037
0,00049	8,1948	0,00077	0,0030
0,00049	7,6676	0,00075	0,0031
0,00041	12,6116	0,00074	0,0041

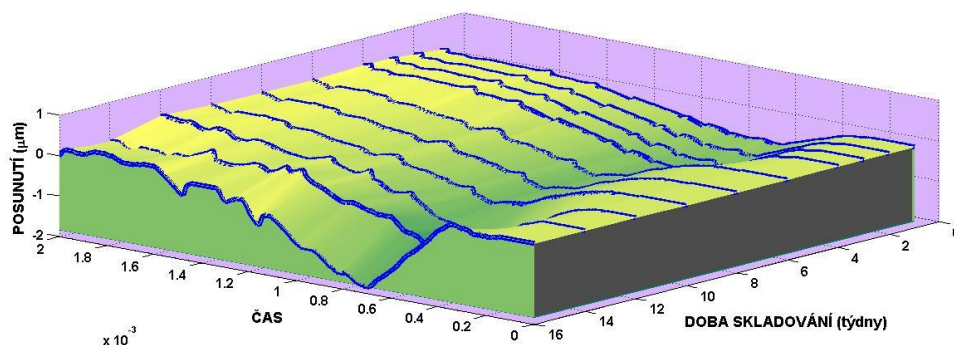
Tab. 81 Parametry časového průběhu rázové síly ve 12. týdnu skladování – křepelčí vejce

$t_I$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00049	9,0574	0,00078	0,0035
0,00049	11,4615	0,00074	0,0041
0,00050	7,7555	0,00080	0,0033
0,00041	9,7922	0,00063	0,0030
0,00041	10,0398	0,00069	0,0034
0,00036	10,5030	0,00062	0,0033
0,00042	8,9136	0,00064	0,0031
0,00049	6,1980	0,00090	0,0029
0,00041	7,6516	0,00074	0,0030
0,00057	6,0063	0,00097	0,0035

Tab. 82 Parametry časového průběhu rázové síly v 16. týdnu skladování – křepelčí vejce

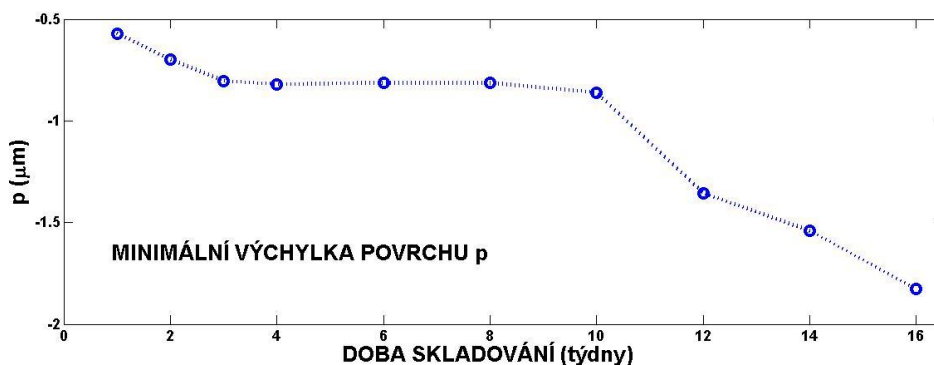
$t_f$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00025	8,7858	0,00063	0,0032
0,00041	10,7027	0,00065	0,0031
0,00036	9,9040	0,00074	0,0043
0,00031	8,1468	0,00067	0,0033
0,00025	12,0605	0,00054	0,0039
0,00030	8,7858	0,00058	0,0031
0,00023	11,3417	0,00050	0,0035
0,00033	8,2267	0,00061	0,0028
0,00023	7,7475	0,00057	0,0029
0,00027	12,6995	0,00059	0,0038

Průběhy posunutí povrchu vaječné skořápky v jednotlivých týdnech skladování jsou vyneseny na Obr. 104.



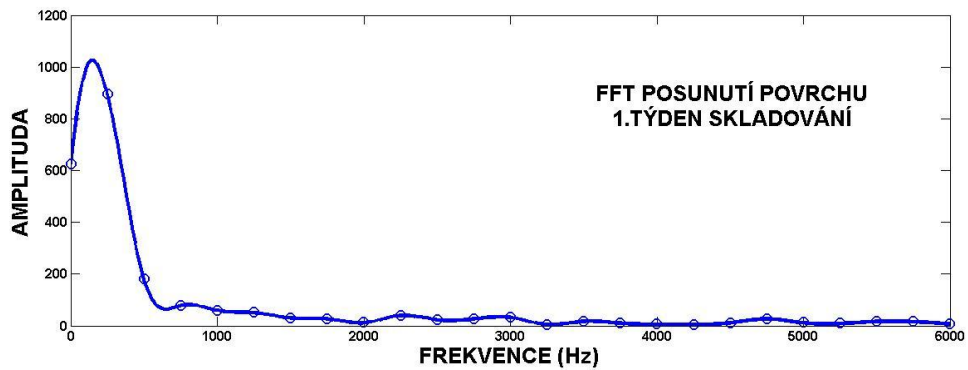
Obr. 104 Průběhy výchylky povrchu vaječné skořápky křepelčích vajec

Ukazuje se, že výchylka vykazuje maximum (amplitudu). Závislost této amplitudy na době skladování je znázorněna na Obr. 105. Na rozdíl od slepičích vajec je tato amplituda v určité oblasti zhruba konstantní. Její růst s dobou skladování je patrný na počátku a v závěru skladování.

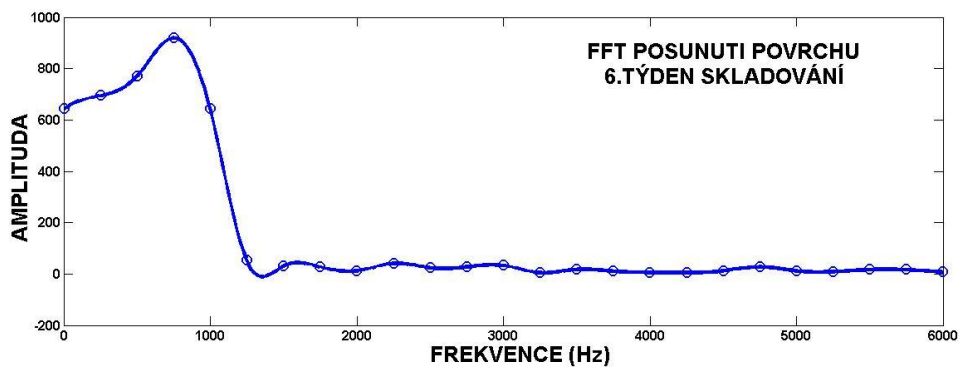


Obr. 105 Vliv doby skladování na velikost amplitudy výchylky povrchu – křepelčí vejce

V další části byla provedena Fourierova analýza. Příklady frekvenční závislosti amplitudy spektrální funkce uvádí Obr. 106 a Obr. 107.

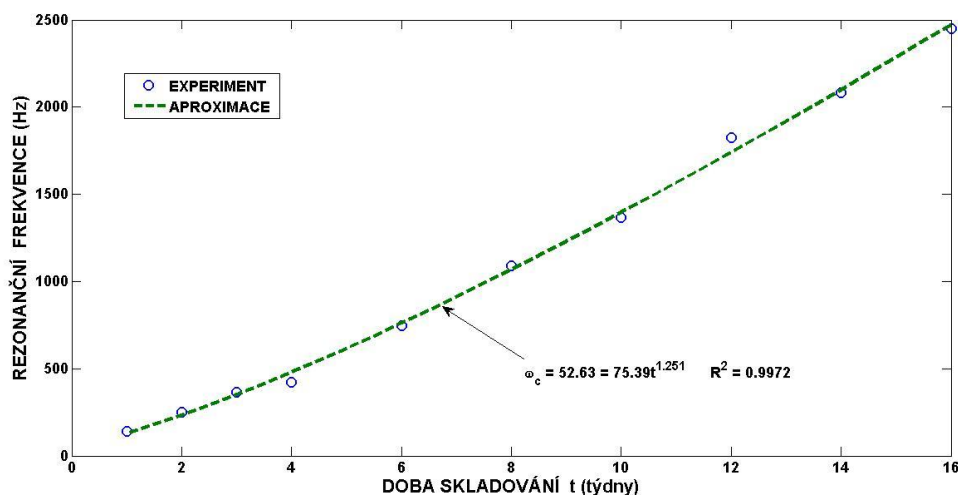


Obr. 106 Frekvenční závislost amplitudy spektrální funkce posunutí povrchu skořápky – křepelčí vejce



Obr. 107 Frekvenční závislost amplitudy spektrální funkce posunutí povrchu skořápky – křepelčí vejce

Stejně jako u slepičích vajec vykazuje tato funkce maximum při frekvenci, která je označována jako rezonanční či dominantní. Její hodnota roste s dobou skladování, jak dokumentují data na Obr. 108.



Obr. 108 Vliv doby skladování na rezonanční frekvenci – křepelčí vejce

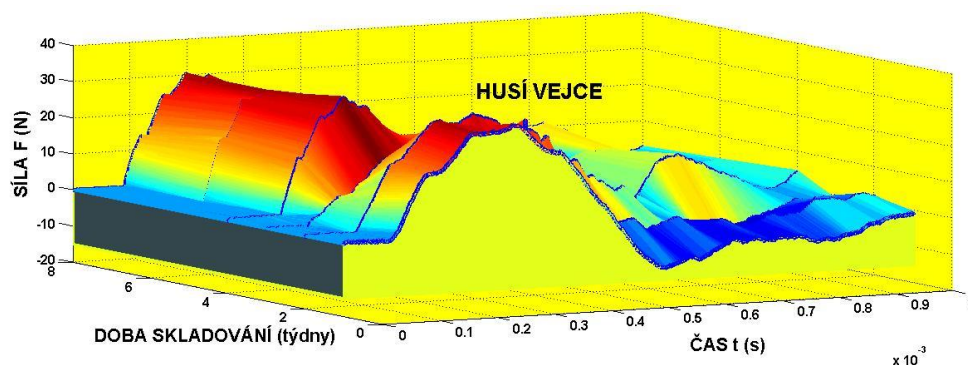
Odezva křepelčích vajec na nedestruktivní rázové zatěžování tak vykazuje kvalitativně stejné rysy jako tato odezva pro slepičí vejce.

### 5.5.3 Nedestruktivní rázové zatěžování husích vajec

Tato vejce byla sledována v 1., 2., 3., 4., 6. a 8. týdnu skladování. Vejce byla zatěžována rázem duralové tyče z výšky 15 mm. Zatěžující síla má obdobný průběh jako v případě slepičích a křepelčích vajec. Příklad časového průběhu těchto sil je uvedena na Obr. 109, kde jsou vyneseny časové průběhy průměrné rázové síly v jednotlivých týdnech skladování. Stejně jako v předcházejících případech není statisticky významný rozdíl mezi parametry rázové síly v jednotlivých týdnech skladování. Z tohoto důvodu je uveden příklad sil jen pro jeden z týdnů skladování. Příslušná data jsou uvedena v Tab. 83.

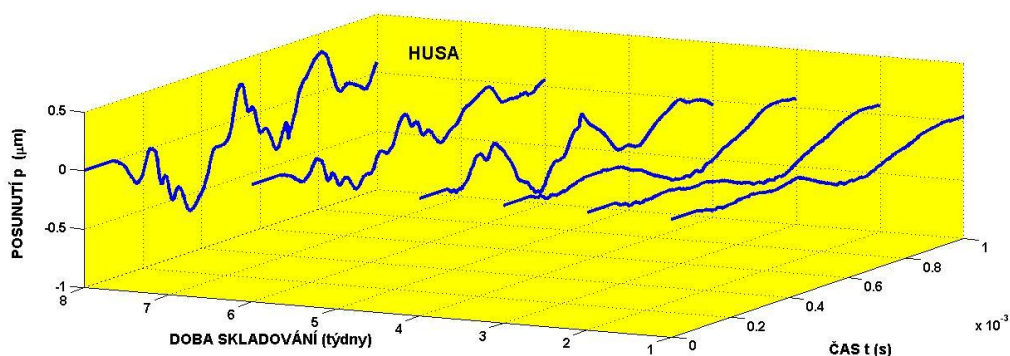
Tab. 83 Parametry časového průběhu rázové síly v 1. týdnu skladování – husí vejce

$t_1$ (s)	$F_{max}$ (N)	$\lambda$ (s)	Impuls síly (Ns)
0,00024	31,3123	0,00040	0,0076
0,00015	29,7006	0,00034	0,0062
0,00029	28,2041	0,00056	0,0091
0,00020	32,2332	0,00034	0,0048
0,00011	29,9309	0,00022	0,0042
0,00011	30,2762	0,00027	0,0050



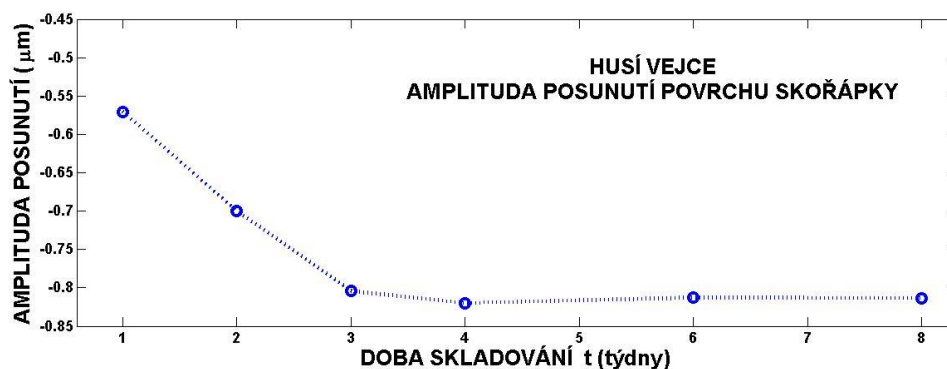
Obr. 109 Časové průběhy rázových sil v jednotlivých týdnech skladování pro husí vejce

Odezva vejce na nedestruktivní ráz je popsána časovým průběhem posunutí povrchu skořápky. Tyto průběhy zaznamenané v jednotlivých týdnech skladování jsou vyneseny na Obr. 110.



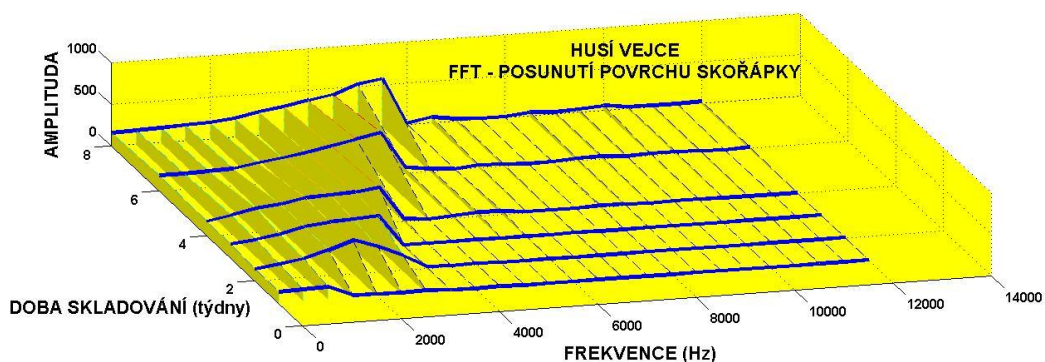
Obr. 110 Vývoj posunutí povrchu skořápky s dobou skladování pro husí vejce

Ve srovnání s případy slepičích a křepelčích vajec lze pozorovat přechod od aperiodického charakteru signálu k periodickému. Jde o určitou analogii s jednoduchým oscilátorem, kde tento přechod jednoznačně závisí na velikosti tlumení. Velikost amplitudy posunutí, která je znázorněna na Obr. 111, roste s dobou skladování a po určité době zůstává téměř konstantní.



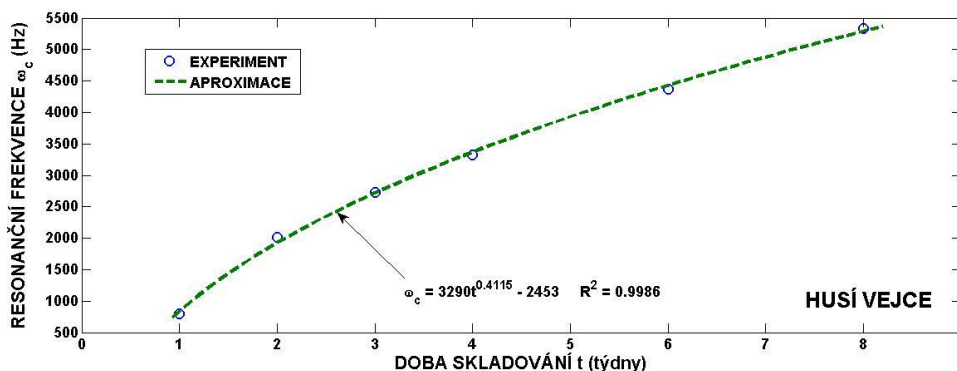
Obr. 111 Změna amplitudy posunutí povrchu skořápky s dobou skladování – husí vejce

Odezva vajec ve frekvenční oblasti je opět charakteristická existencí maxima amplitudy spektrální funkce, jak ilustrují výsledky na Obr. 112.



Obr. 112 Amplituda spektrální funkce posunutí povrchu vaječné skořápky – husí vejce

Frekvence, při které dochází k maximu amplitudy, a která se nazývá rezonanční či dominantní frekvence, je rostoucí funkcí doby skladování, jak znázorňují výsledky na Obr. 113.



Obr. 113 Závislost rezonanční frekvence na době skladování pro husí vejce

#### **5.5.4 Shrnutí výsledků o nedestruktivním rázovém zatěžování vajec**

Odezva vajec na nedestruktivní ráz posuzovaná pomocí výchylky povrchu skořápky vykazuje u slepičích a křepelčích vajec aperiodický charakter. U husích vajec dochází k vývoji periodického průběhu výchylky. Amplituda výchylky je neklesající funkcí doby skladování. Ryze rostoucí je u slepičích vajec. Tyto výsledky je možné interpretovat poklesem viskozity vaječných tekutin s dobou skladování. Tento jev vede k poklesu útlumu vlny napětí vznikající v místě kontaktu vejce – razník.

Je-li hodnocena odezva vajec ve frekvenční oblasti, pak je tato odezva charakterizována maximem dosahovaným pro tzv. rezonanční či dominantní frekvenci. Tato frekvence roste s dobou skladování. U všech tří druhů vajec je tato závislost popsána mocninnou funkcí. Lze konstatovat, že zmíněná frekvence je výrazně závislá na době skladování a tudíž ji lze použít pro poměrně spolehlivé určení doby skladování, a tím čerstvosti vajec. Její výhodou je zejména nedestruktivní charakter daného testu.



## 6 ZÁVĚR

V předložené disertační práci jsou uvedeny výsledky výzkumu změn vlastností slepičích, křepelčích a husích vajec v průběhu dlouhodobého skladování při teplotě 6 °C. U vajec sledovaných druhů drůbeže byly stanoveny geometrické charakteristiky vycházející z exaktního matematického popisu obrysové křivky vaječné skořápky. Tyto charakteristiky mají význam zejména pro numerickou simulaci procesů tepelného zpracování vajec, včetně popisu procesu chlazení, pro hodnocení difuzních procesů skořápkou a zejména pro možný popis odezvy vajec na mechanická namáhání spojená s manipulací a dopravou těchto produktů.

Byly stanoveny základní parametry, které popisují tzv. vnitřní kvalitu vajec, a to rozměry bílku a žloutku, Haughovy jednotky, index bílku a index žloutku. Dále byly stanoveny hodnoty pH zmíněných vaječných tekutin a úbytek hmotnosti vajec v průběhu skladování. Ukazuje se, že tyto veličiny se mění v celkovém průběhu skladování, které bylo v případě slepičích a husích vajec omezeno na 8 týdnů a v případě křepelčích vajec až na 16 týdnů. Tyto změny jsou sice menší jak v prvních dnech skladování, nicméně k nim, na rozdíl od dosud převládajících názorů, dochází. Mimo tyto klasické veličiny používané k popisu vnitřní kvality vajec a k jejímu vývoji v průběhu skladování byl proveden poměrně kompletní výzkum změn reologických charakteristik vaječných tekutin, a to žloutku, bílku a melanže. Reologické chování bylo popsáno pomocí experimentálně stanovených tokových křivek, tzn. závislostí smykového napětí  $\tau$  na rychlosti deformace  $\dot{\gamma}$ . Z výsledků vyplývá:

1. Vaječné tekutiny vykazují neneutronovské chování, kdy viskozita (v daném případě tzv. zdánlivá viskozita) je funkcí rychlosti deformace. Pro všechna sledovaná vejce se ukazuje, že nejvýraznější odchylku od newtonovské tekutiny vykazují bílek a melanž. Chování žloutků je pak poměrně velmi blízké newtonovské tekutině. Pro všechny vaječné tekutiny a v celém průběhu skladování zdánlivá viskozita s rychlostí deformace klesá. Největší viskozitu vykazují tekutiny husích vajec, naopak nejmenší tekutiny křepelčích vajec.
2. Tokovou křivku popisuje nejlépe Herschel-Bulkleyův model:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n,$$

kde  $\tau_0$  je mez kluzu,  $K$  je součinitel konzistence a  $n$  je index toku. Jen o něco horší, nicméně stále velmi dobrou korelaci vykazují použití Ostwald-de Waeleho modelu, který se od výše zmíněného modelu liší nulovou hodnotou meze kluzu. To značně usnadňuje aplikaci modelu při hodnocení toku kapaliny v různém potrubí, při výpočtu hydraulických ztrát apod., jak uvádí daná práce. V rámci této práce byl vcelku zanedbatelný rozdíl mezi použitím těchto dvou modelů ilustrován na případu proudění tekutin v přímém potrubí kruhového průřezu, kdy existuje analytické řešení. Ukazuje se, že použití obou modelů vede k prakticky stejnému profilu rychlosti proudění a zejména existuje jen velmi malý rozdíl ve velikosti objemového toku. Skutečnost, že místo poměrně složitějšího Herschel-Bulkleyova modelu je možné použít Ostwald-de Waeleho model, má význam zejména pro numerickou simulaci proudění tekutiny, kde zmíněný Herschel-Bulkleyův model vede k numerické nestabilitě u řady problémů proudění.

3. Hodnota viskozity se s dobou skladování mění. U křepelčích vajec viskozita všech vaječných tekutin s dobou skladování klesá. To do určité míry platí i pro tekutiny slepičích vajec. Určitou výjimku představují maxima pozorovaná pro bílek, kdy pro rychlosti deformace  $0,1; 1; 10 \text{ s}^{-1}$  byla zjištěna maxima ve 4. týdnu skladování. V případě melanže lze pozorovat řadu lokálních extrémů, a to pro rychlost  $0,1 \text{ s}^{-1}$  ve 2. a 6. týdnu, pro rychlost  $1$  a  $10 \text{ s}^{-1}$  ve 2., 4. a 6. týdnu, pro rychlost  $100 \text{ s}^{-1}$  v 6. týdnu skladování. Poměrně zajímavá závislost viskozity na době skladování se ukazuje u vaječných tekutin husích vajec. V případě žloutku dochází pro rychlost  $0,1 \text{ s}^{-1}$  k maximum ve 2. a 4. týdnu skladování. U bílku lze pozorovat maximum ve 2. týdnu skladování při rychlosti deformace  $0,1 \text{ s}^{-1}$ . Největší variabilitu vykazuje melanž, kdy při rychlosti  $0,1 \text{ s}^{-1}$  viskozita s dobou skladování roste, pro rychlost  $1 \text{ s}^{-1}$  vykazuje maximum ve 2. týdnu a pro rychlost  $10 \text{ s}^{-1}$  minimum ve 3. týdnu skladování. Je zajímavé, že tomuto vývoji neodpovídá např. průběh Haughových jednotek.
4. Byl proveden výzkum možné časové závislosti viskozity vaječných tekutin. Tento výzkum byl proveden pro hodnotu rychlosti deformace  $40 \text{ s}^{-1}$ , což je rychlost deformace, kdy již lze pozorovat pouze monotónní pokles viskozity s dobou skladování. Ukazuje se, že pro všechny vaječné tekutiny slepičích, křepelčích i husích vajec je pozorována změna viskozity s časem. Tato viskozita pak v celé řadě případů, tzn. pro různé doby skladování, klesá s časem, což je důkaz

tixotropního chování. U slepičích vajec pozorujeme tixotropní chování u žloutků v 1., 2., 3., 4., 7. a 8. týdnu skladování. Pro bílek dochází k tixotropii ve 2. a 4. týdnu a u melanže je tixotropní chování pozorováno v 1., 3., 4., 6. a 7. týdnu skladování. Tixotropní chování v celém průběhu skladování pozorujeme pro melanž křepelčích vajec. U žloutků těchto vajec dochází k tixotropnímu chování v 1., 4., 6., 8., 14. a 16. týdnu. U bílku pak jen ve 12. týdnu skladování. U husích vajec vykazuje tixotropní chování ve všech týdnech skladování melanž. U žloutku je toto chování omezeno na 1., 2., 3., 4. a 6. týden a u bílku na 1., 2. a 3. týden skladování. Ve zbývajících případech pozorujeme i nemonotónní průběhy závislosti viskozity na čase, které jsou popsány různými funkcemi. Je tedy patrné, že vaječné tekutiny obecně neumožňují aplikaci vztahů uvedených v kapitole 2.4. Pro každou tekutinu a druh vejce je třeba stanovit časovou závislost viskozity zvlášť. Pro detailní výzkum by pak bylo nezbytné realizovat výzkum časové závislosti viskozity pro nejrůznější hodnoty rychlostí deformace, což je však záležitostí samostatné práce.

Celkově se ukazuje, že reologické vlastnosti vaječných tekutin jsou na dobu skladování výrazně citlivější než klasické veličiny jako např. Haughovy jednotky, nemluvě o jejich praktickém významu v potravinářství.

Značně původní poznatky byly získány výzkumem deformačního chování podskořápkových blan, kdy zejména v případě blan křepelčích a husích vajec jde s největší pravděpodobností o původní údaje. Stejně tvrzení platí o studiu vlivu doby skladování na deformační chování podskořápkových blan všech sledovaných vajec. Z výsledků vyplývá:

1. Pevnost podskořápkových blan je rostoucí funkcí rychlosti zatěžování a nerostoucí funkcí doby skladování. Pokud platí teorie o vztahu mezi pevností podskořápkových blan a pevností vaječných skořápek vytvořená na základě výsledků získaných pro blány slepičích vajec, znamenalo by to nový poznatek o vývoji pevnosti vaječné skořápky během skladování, což je dosud nevyjasněná záležitost. Výsledky dané práce poskytují určité indicie o změnách této pevnosti.
2. Znalost pevnosti, resp. celkového deformačního chování vaječných blan je rovněž nezbytná pro numerickou simulaci vajec v průběhu mechanického namáhání.

Aplikace metody nedestruktivního rázu představuje původní přístup ke sledování vývoje kvality vajec během jejich skladování. Naprostá většina dosud provedených

prací byla totiž zaměřena na aplikace této metodiky pro hodnocení integrity a pevnosti vaječné skořápky, tzn. na parametry popisující vnější kvalitu vajec. Výsledky předkládané práce ukazují, že na odezvu vajec na nedestruktivní ráz má značný vliv i kvalita vaječných tekutin. Tento vliv je pak nejlépe vyjádřen ve frekvenční oblasti odezvy pomocí tzv. dominantní frekvence, která je obecně rostoucí funkcí doby skladování. Byl navržen jednoduchý model, který tento jev popisuje kvalitativně. S ohledem na poměrně složitou geometrii vajec je pak tuto hypotézu možné ověřit pouze numericky, což by mohlo být náplní dalších prací. Pokud bude realizován následný výzkum, kde by byly nalezeny korelace mezi danou odezvou a běžnými veličinami, jako jsou vlastnosti bílku apod., byl by postup realizovaný v dané práci velmi spolehlivým postupem hodnocení vnitřní kvality vajec.

Získané poznatky mají význam jak v oblasti základního poznání, tak pro praxi. V prvním směru je možné prezentovat skutečnost, že reologické vlastnosti a pevnostní charakteristiky vaječných blan se mění s dobou skladování výrazně intenzivněji, než by vyplývalo z použití klasických veličin popisujících vnitřní kvalitu vajec (Haughovy jednotky, index bílku, index žloutku apod.). Nemenší význam má zjištění o vlivu vaječných tekutin na odezvu vajec na nedestruktivní ráz. Tento poznatek má pak význam i pro praktické použití, kdy se ukazuje poměrně snadná možnost nedestruktivního monitorování kvality vajec během skladování. Dalším příspěvkem pro praktické využití má význam ověření možnosti, že tokové vlastnosti vaječných tekutin je možné popsat v rámci jednoduššího modelu než je obecný Herschel-Bulkleyův model.

Celkově se ukazuje, že problematika změn kvality vajec v průběhu skladování je velmi komplikovaná a navzdory dosavadnímu intenzivnímu výzkumu existují četné směry, kde by bylo třeba výzkum rozšířit. Některé tyto směry pak rovněž vplynuly při hodnocení výsledků dané práce.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABDEL-NOUR, N., NGADI, M., PRASHER, S. a KARIMI, Y. Prediction of egg freshness and albumen quality using visible/near infrared spectroscopy. *Food and Bioprocess Technology*. 2011, 4(5), s. 731–736.

ABOONAJMI, M., SETAREHDAN, S. K., AKRAM, A., NISHIZU, T. a KONDO, N. Prediction of poultry egg freshness using ultrasound. *International Journal of Food Properties*. 2014, 17(9), s. 1889–1899.

ABRAHAMSSON, P. a TAUSON, R. Performance and egg quality of laying hens in an aviary system. *The Journal of Applied Poultry Research*. 1998, 7(3), s. 225–232.

ABRAHAMSSON, P. a TAUSON, R. Aviary systems and conventional cages for laying hens: effects on production, egg quality, health and bird location in three hybrids. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*. 1995, 45(3), s. 191–203.

ABRAHAMSSON, P., TAUSON, R. a APPLEBY, M. C. Performance of four hybrids of laying hens in modified and conventional cages. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*. 1995, 45(4), s. 286–296.

ADAMIEC, J., DOLEŽAL, M., MÍKOVÁ, K. a DAVÍDEK, J. Changes in egg volatiles during storage. *Czech Journal of Food Sciences*. 2002, 20(2), s. 79–82.

AHMADPOUR, A. a SADEGHY, K. An exact solution for laminar, unidirectional flow of Houska thixotropic fluids in a circular pipe. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 2013, 194, s. 23–31.

AHMED, J., RAMASWAMY, H. S., ALLI, I. a NGADI, M. Effect of high pressure on rheological characteristics of liquid egg. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 2003, 36(5), s. 517–524.

AKTAN, S. Effects of age and storage duration on relationships among albumen quality traits and egg weight in japanese quails. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2011, 10(25), s. 3340–3344.

AKYUREK, H. a OKUR, A. A. Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2009, 8(10), s. 1953–1958.

ALAÇAHAN, S. a GÜNLÜ, A. Determination of egg quality characteristics of different poultry species with digital image analysis. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2012, 18(6), s. 979–986.

ALAMPRESE, C., CASIRAGHI, E. a ROSSI, M. Foaming, gelling and rheological properties of liquid egg albumen as affected by the housing system and the age of laying hens. *International Journal of Food Science and Technology*. 2012, 47(7), s. 1411–1420.

ALTUNTAŞ, E. a ŞEKEROĞLU, A. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *Journal of Food Engineering*. 2008, 85(4), s. 606–612.

- ALVAREZ, E., CANCELA, M. A. a MACEIRAS, R. Comparison of rheological behaviour of salad sauces. *International Journal of Food Properties*. 2006, 9(4), s. 907–915.
- AMER, M. F. Egg quality of *Rhode Island Red*, *Fayoumi* and *Dandarawi*. *Poultry Science*. 1972, 51(1), s. 232–238.
- ANTON, M. Egg yolk: structures, functionalities and processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013, 93(12), s. 2871–2880.
- ANTUONO, M. a COLAGROSSI, A. The damping of viscous gravity waves. *Wave Motion*. 2013, 50(2), s. 197–209.
- ARIAS, J. L., FERNANDEZ, M. S., DENNIS, J. E. a CAPLAN, A. I. Collagens of the chicken eggshell membranes. *Connective Tissue Research*. 1991, 26(1–2), s. 37–45.
- ATILGAN, M. R. a UNLUTURK, S. Rheological properties of liquid egg products (LEPS). *International Journal of Food Properties*. 2008, 11(2), s. 296–309.
- BAIN, M. M., DUNN, I. C., WILSON, P. W., JOSEPH, N., DE KETELAERE, B., DE BAERDEMAEKER, J. G. a WADDINGTON, D. Probability of an egg cracking during packing can be predicted using a simple non-destructive acoustic test. *British Poultry Science*. 2006, 47(4), s. 462–469.
- BALÁŽ, M. Eggshell membrane biomaterial as a platform for applications in materials science. *Acta Biomaterialia*. 2014, 10(9), s. 3827–3843.
- BAMELIS, F. R., DE KETELAERE, B., MERTENS, K., KEMPS, B. J., DECUYPERE, E. M. a DE BAERDEMAEKER, J. G. Measuring the conductance of eggshells using the acoustic resonance technique and optical transmission spectra. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008, 62(1), s. 35–40.
- BAMELIS, F. R., KEMPS, B. J., MERTENS, K., GOVAERTS, T., DE KETELAERE, B., KAMERS, B., KOKOU, T., DECUYPERE, E. M. a DE BAERDEMAEKER, J. G. Non-destructive internal egg freshness assessment using VIS-NIR spectroscopy. In: *Proceedings of X<sup>th</sup> European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*. France, Saint-Brieuc Ploufragan. 2003, s. 91–97.
- BARNES, H. A. Thixotropy – a review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 1997, 70(1–2), s. 1–33.
- BARTECZKO, J., KAPKOWSKA, E., RATYCH, I., BOROWIEC, F. a AUGUSTYN, R. The effect of supplementing vitamin C and sodium to diets on the fatty acid profile of goose egg yolk lipids. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2005, 14(1), s. 423–426.
- BELL, D. D., WEAVER, W. D. *Commercial chicken meat and egg production*. USA: Kluwer Academic Publishers, 2001, 1365 s. ISBN 0-7923-7200-X.
- BERARDINELLI, A., GIUNCHI, A., GUARNIERI, A., PEZZI, F. a RAGNI, L. Shell egg albumen height assessment by FT-NIR spectroscopy. *Transactions of the ASAE*. 2005, 48(4), s. 1423–1428.
- BILOŠOVÁ, A. *Experimentální modální analýza* [online]. 2009 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z:[http://www.337.vsb.cz/materialy/experimentalni\\_modalni\\_analyza/EMA\\_skripta.pdf](http://www.337.vsb.cz/materialy/experimentalni_modalni_analyza/EMA_skripta.pdf)

- BLISS, G. N. *Crack detector*. U. S. Patent No. 3744299, 1973.
- BUCHAR, J., NEDOMOVÁ, Š. a STRNKOVÁ, J. Effect of loading rate on the eggshell strength. In: *BioPhys Spring 2013*. Poland, Lublin: ALF-GRAF- Lublin. 2013, s. 7. ISBN 978-83-89969-04-0.
- CANER, C. The effect of edible eggshell coatings on egg quality and consumer perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005, 85(11), s. 1897–1902.
- CAPOZZI, F., CREMONINI, M. A., LUCHINAT, C., PLACUCCI, G. a VIGNALI, C. A low frequency 1H-NMR external unit for the analysis of large foodstuff samples. *Journal of Magnetic Resonance*. 1999, 138(2), s. 277–280.
- CARDINAELS, R., VAN DE VELDE, J., MATHUES, W., VAN LIEDEKERKE, P. a MOLDENAERS, P. A rheological characterisation of liquid egg albumen. In: *Inside Food Symposium*. Belgium, Leuven. 2013, s. 1–6.
- CARNARIUS, K. M., CONRAD, K. M., MAST, M. G. a MACNEIL, J. H. Relationship of eggshell ultrastructure and shell strength to the soundness of shell eggs. *Poultry Science*. 1996, 75(5), s. 656–663.
- CITERNE, G. P., CARREAU, P. J. a MOAN, M. Rheological properties of peanut butter. *Rheologica Acta*. 2001, 40(1), s. 86–96.
- CORNFORD, S. J., PARKINSON, T. L. a ROBB, J. Rheological characteristics of processed whole egg. *International Journal of Food Science and Technology*. 1969, 4(4), s. 353–361.
- COUCKE, P. M., DE KETELAERE, B., DE BAERDEMAEKER, J. G. Experimental analysis of the dynamic, mechanical behaviour of a chicken egg. *Journal of Sound and Vibration*. 2003, 266(3), s. 711–721.
- COUCKE, P. M., DEWIL, E., DECUYPERE, E. a DE BAERDEMAEKER, J. G. Measuring the mechanical stiffness of an eggshell using resonant frequency analysis. *British Poultry Science*. 1999, 40(2), s. 227–232.
- COUCKE, P. M., ROOM, G. M., DECUYPERE, E. M. a DE BAERDEMAEKER, J. G. Monitoring embryo development in chicken eggs using acoustic resonance analysis. *Biotechnology Progress*. 1997, 13(4), s. 474–478.
- COUTTS, J. A., WILSON, G. C. *The poultry site* [online]. 2007 [cit. 2015-01-01]. Optimum Egg Quality: A Practical Approach. Dostupné z WWW: <<http://www.thepoultrysite.com/ourbooks/1/egg-quality-handbook/>>.
- ČSN 57 2301. Vaječné výrobky. Vaječná hmota. Praha, 1992.
- DAUBERT, CH. R. a FOEGEDING, E. A. Rheological principles for food analysis. In: NIELSEN, S. S. *Food analysis*. London: Springer, 2010. s. 541–554. ISBN 978-1-4419-1478-1.
- DE KETELAERE, B., BAMELIS, F., KEMPS, B., DECUYPERE, K. a DE BAERDEMAEKER, J. G. Non-destructive measurements of the egg quality. *World's Poultry Science Journal*. 2004, 60(3), s. 289–302.

- DE KETELAERE, B., VANHOUTTE, H. a BAERDEMAEKER, J. Parameter estimation and multivariable model building for the non-destructive, on-line determination of eggshell strength. *Journal of Sound and Vibration*. 2003, 266(3), s. 699–709.
- DE KETELAERE, B. a DE BAERDEMAEKER, J. Parameter estimation for the non-destructive quality assessment of agro-products using vibration measurements. In: *Proceedings of the First International Workshop on Noise and Vibration in Agricultural and Biological Engineering*. Belgium. 2000a, s. 142–148.
- DE KETELAERE, B., COUCKE, P. a DE BAERDEMAEKER, J. Eggshell crack detection based on acoustic resonance frequency analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2000b, 76(2), s. 157–163.
- DE MENEZES, P. C., DE LIMA, E. R., DE MEDEIROS, J. P., DE OLIVEIRA, W. N. K. a EVÊNCIO-NETO, J. Egg quality of laying hens in different conditions of storage, ages and housing densities. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2012, 41(9), s. 2064–2069.
- DE SOUZA MENDES, P. R. Modeling the thixotropic behavior of structured fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 2009, 164(1–3), s. 66–75.
- DIVOUX, T., TAMARII, D., BARENTIN, C., TEITEL, S. a MANNEVILLE, S. Yielding dynamics of a Herschel-Bulkley fluid: a critical-like fluidization behaviour. *Soft Matter*. 2012, 8(15), s. 4151–4164.
- DOLZ, M., JIMÉNEZ, J., HERNÁNDEZ, M. J., DELEGIDO, J. a CASANOVAS, A. Flow and thixotropy of non-contaminating oil drilling fluids formulated with bentonite and sodium carboxymethyl cellulose. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2007, 57(3–4), s. 294–302.
- DUDUSOLA, I. O. Effects of storage methods and length of storage on some quality parameters of japanese quail eggs. *Tropicultura*. 2009, 27(1), s. 45–48.
- ĐUKIĆ-STOJČIĆ, M., MILOŠEVIĆ, N., PERIĆ, L., JAJIĆ, I. a TOLIMIR, N. Egg quality of japanese quail in Serbia (*Coturnix coturnix japonica*). *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2012, 28(3), s. 425–431.
- DUNN, I. C., BAIN, M. M., EDMOND, A., WILSON, P. W., JOSEPH, N., SOLOMON, S., DE KETELAERE, B., DE BAERDEMAEKER, J. G., SCHMUTZ, M., PREISINGER, R. a WADDINGTON, D. Heritability and genetic correlation of measurements derived from acoustic resonance frequency analysis; a novel method of determining eggshell quality in domestic hens. *British Poultry Science*. 2005a, 46(3), s. 280–286.
- DUNN, I. C., BAIN, M., EDMOND, A., WILSON, P. W., JOSEPH, N., SOLOMON, S., DE KETELAERE, B., DE BAERDEMAEKER, J. G., SCHMUTZ, M., PREISINGER, R. a WADDINGTON, D. Dynamic stiffness ( $K_{dyn}$ ) as a predictor of eggshell damage and its potential for genetic selection. In: *XI<sup>th</sup> European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*. The Netherlands. 2005b, s. 315–319.
- DUTTA, R., HINES, E. L., GARDNER, J. W., UDREA, D. D. a BOILOT, P. Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach. *Measurement Science and Technology*. 2003, 14(2) s. 190–198.



- ELSTER, R. T. a GOODRUM, J. W. Detection of Cracks in Eggs Using Machine Vision. *Transactions of the ASAE*. 1991, 34(1), s. 307–312.
- EL-TARABANY, M. S., ABDEL-HAMID, T. M. a MOHAMMED, H. H. Effects of cage stocking density on egg quality traits in japanese quails. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*. 2015, 21(1) s. 13–18.
- FAŠIANGOVÁ, M. *Jakost vajec různých druhů drůbeže*. Brno, 2013. 95 s. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- FATHI, M. M. Ultrastructural evaluation of eggshell in japanese quail genetically selected for higher egg production. In: *Proceedings of 4<sup>th</sup> World's Poultry Conference*. Egypt, Sharm El-Sheikh. 2007, s. 207–217.
- GARDIÁNOVÁ, I. a TŮMOVÁ, E. Některé faktory ovlivňující kvalitu vajec a vaječné skořápky. *Krmivářství*. 2002, 6(3), s. 29–30.
- GAUTRON, J., HINCKE, M. T., NYS, Y. Precursor matrix proteins in the uterine fluid change with stages of eggshell formation in hens. *Connective Tissue Research*. 1997, 36(3), s. 195–210.
- GAVRIL, R. a USTUROI, M. G. Effects of temperature and storage time on hen eggs quality. *Journal of Biotechnology*. 2012, 161, s. 210–214.
- GENCHEV, A. Quality and composition of japanese quail eggs (*Coturnix Japonica*). *Trakia Journal of Sciences*. 2012, 10(2), s. 91–101.
- GIUNCHI, A., BERARDINELLI, A., RAGNI, L., FABBRI, A. a SILAGHI, F. A. Non-destructive freshness assessment of shell eggs using FT-NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 2008, 89(2), s. 142–148.
- GJORGOVSKA, N., FILEV, K. a LEVKOV, V. External and internal quality of eggs produced from aged hens. *Lucrari știintifice. Seria Zootehnie-Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară Ion Ionescu de la Brad*. 2011, 56(16), s. 342–345.
- GRODA, B. *Mechanika tekutin a suspenzí*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002, 51 s. ISBN 80-7157-576-3.
- GUAN, D., CHENG, M., WANG, Y. a TANG, J. Dielectric properties of mashed potatoes relevant to microwave and radio-frequency pasteurization and sterilization processes. *Journal of Food Science*. 2004, 69(1), s. 30–37.
- HA, Y. W., SON, M. J., YUN, K. S. a KIM, Y. S. Relationship between eggshell strength and keratan sulfate of eggshell membranes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*. 2007, 147(4), s. 1109–1115.
- HAMID-SAMIMI, M. H. a SWARTZEL, K. R. Maximum change in physical and quality parameters of fluid foods during continuous flow heating. Application to liquid whole egg. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1985, 8(3–4), s. 225–239.
- HAMID-SAMIMI, M. H., SWARTZEL, K. R. a BALL, H. R. Flow behavior of liquid whole egg during thermal treatments. *Journal of Food Science*. 1984, 49(1), s. 132–136.
- HAMILTON, R. M. G. Methods and factors that affect the measurement of eggshell quality. *Poultry Science*. 1982, 61(10), s. 2022–2039.

- HAMILTON, R. M. G., HOLLANDS, K. G., VOISEY, P. W. a GRUNDER, A. A. Relationship between eggshell quality and shell breakage and factors that affect shell breakage in the field: a review. *World's Poultry Science Journal*. 1979, 35(3), s. 177–190.
- HE, L., JIANG, D., LIU, L. a LIU, J. Nondestructive testing system for eggshells based on DSP. In: *Computer And Computing Technologies In Agriculture, Volume II*. Boston. 2008, s. 1147–1154. ISBN 978-0-387-77253-0.
- HEJLOVÁ, Š.: *Hygiena a technologie vajec a vaječných výrobků*. 1. vyd. Újezd u Brna: Straka. 2001. 72 s. ISBN 80-9027758-6.
- HIDALGO, A., ROSSI, M. a POMPEI, C. Estimation of equivalent egg age through furosine analysis. *Food Chemistry*. 2006, 94(4), s. 608–612.
- HINCKE, M. T., GAUTRON, J., PANHÉLEUX, M., GARCIA-RUIZ, J. M., MCKEE, M. D. a NYS, Y. Identification and localization of lysozyme as a component of the eggshell membranes and shell matrix. *Matrix Biology*. 2000, 19(5), s. 443–453.
- HOUSKA, M. *Engineering Aspects of the Rheology of Thixotropic Liquids*. Prague, 1981. PhD thesis. Czech Technical University.
- HRNČÁR, C., HANUSOVÁ, E., HANUS, A. a BUJKO, J. Effect of genotype on egg quality characteristics of japanese quail (*Coturnix japonica*). *Slovak Journal of Animal Science*. 2014, 47(1), s. 6–11.
- HUOPALAHTI, R., LOPEZ-FANDINO, R., ANTON, M., ACHADE, R. *Bioactive egg compounds*. Berlin: Springer, 2007. 298 s. ISBN 3-540-37883-9.
- CHO, H. K., CHOI, W. K. a PAEK, J. H. Detection of surface cracks in shell eggs by acoustic impulse method. *Transaction of the ASAE*. 2000, 43(6), s. 1921–1926.
- CHO, H. K. a KWON, Y. Crack detection in eggs by machine vision. *Transactions of the ASAE*. 1996, 39(3), s. 777–784.
- IBARZ, A. Rheology of salted egg yolk. *Journal of Texture Studies*. 1993, 24(1), s. 63–71.
- IBARZ, A. a SINTES, J. Rheology of egg yolk. *Journal of Texture Studies*. 1989, 20(2), s. 161–167.
- ICKEN, W., SCHMUTZ, M., PREISINGE, R. Dynamic stiffness measurements with the “crack detector”: a new method to improve egg shell strength. *Lohman Information*. 2006, 41, s. 13–19.
- JIN, CH., YAO, Y., FAN, K., JIANG, J. a YING, Y. Effect of eggshell membrane on eggshell strength. *Transaction of the ASABE*. 2014, 57, s. 423–435.
- JIN, Y. H., LEE, K. T., LEE, W. I. a HAN, Y. K. Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2011, 24(2), s. 279–284.
- JINDAL, V. K. a SRITHAM, E. Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and artificial neural networks. In: *ASAE Annual International Meeting*. Las Vegas, USA. 2003, Paper Number 036170.

- JOHANSSON, K., ORBERG, J., CARLGREN, A. B. a WILHELMSON, M. Selection for eggshell strength in laying hens using shell membrane characteristics. *British Poultry Science*. 1996, 37(4), s. 757–763.
- JONES, D. R. a MUSGROVE, M. T. Effects of extended storage on egg quality factors. *Poultry Science*. 2005, 84(11), s. 1174–1777.
- KAROUI, R., KEMPS, B., BAMELIS, F., DE KETELAERE, B., DECUYPERE, E. a DE BAERDEMAEKER, J. G. Method to evaluate egg freshness in research and industry: a review. *European Food Research and Technology*. 2006, 222(5–6), s. 727–732.
- KAUFMAN, V. F., IJICHI, K. a PUTNAM, G. W. Flow characteristics in holding tubes of commercial egg pasteurizers. *Journal of Milk Food Technology*. 1968, 31, s. 269–273.
- KEENER, K. M., MCAVOY, K. C., FOEGEDING, J. B., CURTIS, P. A., ANDERSON, K. E. a OSBORNE, J. A. Effect of testing temperature on internal egg quality measurements. *Poultry Science*. 2006, 85(3), s. 550–555.
- KEMPS, B. J., BAMELIS, F. R., MERTENS, K., DECUYPERE, E. M., DE BAERDEMAEKER, J. G. a DE KETELAERE, B. The assessment of viscosity measurements on the albumen of consumption eggs as an indicator for freshness. *Poultry Science*. 2010, 89(12), s. 2699–2703.
- KEMPS, B. J., DE KETELAERE, B., BAMELIS, F. R., MERTENS, K., DECUYPERE, E. M., DE BAERDEMAEKER, J. G. a SCHWÄGELE, F. Albumen freshness assessment by combining visible near-infrared transmission and low-resolution proton nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Poultry Science*. 2007, 86(4), s. 752–759.
- KEMPS, B. J., GOVAERTS, T., DE KETELAERE, B., MERTENS, K., BAMELIS, F. R., BAIN, M. M., DECUYPERE, E. M. a DE BAERDEMAEKER, J. G. The influence of line and laying period on the relationship between different eggshell and membrane strength parameters. *Poultry Science*. 2006, 85(7), s. 1309–1317.
- KEMPS, B. J., DE KETELAERE, B., BAMELIS, F. R., DECUYPERE, E. M. a DE BAERDEMAEKER, J. G. Vibration analysis on incubating eggs and its relation to embryonic development. *Biotechnology Progress*. 2003, 19(3), s. 1022–1025.
- KHAN, M. J. A., KHAN, S. H., BUKHSH, A. a AMIN, M. The effect of storage time on egg quality and hatchability characteristics of Rhode Island Red (RIR) hens. *Veterinarski Archiv*. 2014, 84(3), s. 291–303.
- KIRSANOV, E. A. a REMIZOV, S. V. Application of the Casson model to thixotropic waxy crude oil. *Rheologica Acta*. 1999, 38(2) s. 172–176.
- KIRUNDA, D. F. K. a MCKEE, S. R. Relating quality characteristics of aged eggs and fresh eggs to vitelline membrane strength as determined by a texture analyzer. *Poultry Science*. 2000, 79(8), s. 1189–1193.
- KŘÍŽ, L. *Zpracování a ošetření drůbežích produktů*. 1. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky, 1997. 29 s. ISBN 80-7105-160-8.

- KUL, S. a SEKER, I. Phenotypic correlations between some external and internal egg quality traits in the Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *International Journal of Poultry Science*. 2004, 3(6), s. 400–405.
- LI, Z., WEI, L. a ZHANG, S. Studies on the relationship between eggshell quality and ultrastructure. *Chinese Journal of Animal Science*. 2008, 44(1), s. 35–39.
- LI-CHAN, E. C. Y. a KIM, H. O. Structure and chemical composition of eggs. In: MINE, Y. *Egg Bioscience and Biotechnology*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience, 2008, s. 1–95. ISBN 9780470039984.
- LIU, Y., YING, Y., OUYANG, A a LI, Y. Measurement of internal quality in chicken eggs using visible transmittance spectroscopy technology. *Food Control*. 2007, 18(1), s. 18–22.
- LIU, Y. a QIAO, Z. A correlative study on the optical properties and freshness of chicken-egg. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*. 2002a, 24(1), s. 45–47.
- LIU, Y. a QIAO, Z. A correlative analysis on the freshness of chicken eggs and storing conditions. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*. 2002b, 41, s. 48–51.
- MAZANOWSKI, A. a ADAMSKI, M. The structure, chemical composition and time trends of egg quality characteristics in high-producing geese. *Archiv für Geflügelkunde*. 2006, 70(3), s. 127–133.
- MAZANOWSKI, A. a DZIADEK, K. Traits of Graylag, White Kóhuda and Slovakian goose crossbreds relative to direction of crossing. *Annals of Animal Science*. 2003, 3(1), s. 165–183.
- MERTENS, K., DE KETELAERE, B., BAMELIS, F., OSTYN, B., KEMPS, B., PERIANU, C., VAESEN, I., ZOONS, J., DECUYPERE, E. a DE BAERDEMAEKER, J. Using the dynamical stiffness ( $K_{dyn}$ ) in an egg quality monitoring scheme. In: *XVIII European Symposium on the Quality of Poultry Meat and XII European Symposium on the Quality of Eggs and Egg products*. Czech Republic. 2007a, s. 91–92.
- MERTENS, K., DE KETELAERE, B., OSTYN, B., BAMELIS, F., ZOONS, J., DE BAERDEMAEKER, J. a DECUYPERE, E. Design of quality control charts for monitoring the production process of consumption eggs in order to improve egg quality. In: *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference on Precision Livestock Farming*. Greece. 2007b, s. 53–59.
- MERTENS, K., BAMELIS, F., KEMPS, B., KAMERS, B., VERHOELST, E., DE KETELAERE, B., BAIN M. M., DECUYPERE, E. a DE BAERDEMAEKER, J. Monitoring of eggshell breakage and eggshell strength in different production chains of consumption eggs. *Poultry Science*. 2006, 85(9), s. 1670–1677.
- MESSENS, W., GRIJSPEERDT, K. a HERMAN, L. Eggshell penetration by *Salmonella*: a review. *World's Poultry Science Journal*. 2005, 61(1) s. 71–86.
- METAXAS, A. C. a MEREDITH, R. J. *Industrial microwave heating*. Exeter: Peter Peregrinus, 1983, 357 s. ISBN 09-060-4889-3.
- MÍKOVÁ, K. Jakost vajec. *Maso-Lahůdka*. 2002, 13(3), s. 1–2.

- MÍKOVÁ, K. a DAVÍDEK, J. Kritéria čerstvosti a kvality slepičích vajec. *Czech Journal of Food science*. 2000, 18(6), s. 250–255.
- MILLER, K. How to test very soft biological tissues in extensit? *Journal of Biomechanics*. 2001, 34(5), s. 651–665.
- MITSOULIS, E. Flows of viscoplastic materials: models and computations. In: BINDING, D. M., HUDSON, N. E. a KEUNINGS, R. *Rheology Reviews*. London: The British Society of Rheology, 2007, s. 135–178. ISBN 978-0954741464.
- MITSOULIS, E., ABDALI, S. S. a MARKATOS, N. C. Flow simulation of Herschel-Bulkley fluids through extrusion dies. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 1993, 71(1), s. 147–160.
- MOAYERI, H. *Probe, device and method for testing eggs*. U.S. Patent No. 5728939, 1998.
- MOHSEIN, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1970, 724 s.
- MONIRA, K. N., SALAHUDDIN, M. a MIAH, G. Effect of breed and holding period on egg quality characteristics of chicken. *International Journal of Poultry Science*. 2003, 2(4), s. 261–263.
- NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 2295/2003. *Nářizení Komise (ES) č. 2295/2003, kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařizení Rady (EHS) č. 1907/90 o některých obchodních normách pro vejce*. Brusel: Official Journal of the European Union L 340/16, 2003.
- NEDOMOVÁ, Š. a BUCCHAR, J. Goose eggshell geometry. *Research in Agricultural Engineering*. 2014, 60(3), s. 100–106.
- NEDOMOVÁ, Š., BUCCHAR, J. a STRNKOVÁ, J. Goose's eggshell strength at compressive loading. *Potravinárstvo - Food Science*. 2014, 8(1), s. 54–61.
- NEDOMOVÁ, Š. a BUCCHAR, J. Ostrich eggs geometry. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013, 61(3), s. 735–742.
- NEDOMOVÁ, Š., BUCCHAR, J. a STRNKOVÁ, J. Mechanical behaviour of Ostrich's eggshell at compression. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013, 61(3), s. 729–734.
- NEDOMOVÁ, Š. a SIMEONOVÁ, J. Vliv délky a teploty skladování na jakostní parametry vajec. *Potravinárstvo - Food Science*. 2010, 4(1), s. 196–203.
- NEDOMOVÁ, Š., TRNKA, J., DVOŘÁKOVÁ, P., BUCCHAR, J., SEVERA, L. Hen's eggshell strength under impact loading. *Journal of Food Engineering*. 2009, 94(3–4), s. 350–357.
- NELSON, S. O. Electrical properties of agricultural products – a critical review. *Transactions of the ASAE*. 1973, 16(2), s. 384–400.
- NORTON, I. T., SPYROPOULOS, F. a COX, F. *Practical food rheology: an interpretive approach*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2011, 280 s. ISBN 978-1-4051-9978-0.

- NORTON, T. a SUN, D. Computational fluid dynamics (CFD) – an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 2006, 17(11), s. 600–620.
- NYS, Y., BAIN, M. a VAN IMMERSEEL, F. *Improving the safety and quality of eggs and egg products*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011, 602 s. ISBN 08570907202.
- NYS, Y., GAUTRON, J., GARCIA-RUIZ, J. M. a HINCKE, M. T. Avian eggshell mineralization: Biochemical and functional characterization of matrix proteins. *Comptes Rendus Palevol*. 2004, 3(6–7), s. 549–562.
- NYS, Y., HINCKE, M. T., ARIAS, J. L., GARCIA-RUIZ, J. M. a SOLOMON, S. E. Avian eggshell mineralization. *Poultry and Avian Biology Reviews*. 1999, 10(3), s. 143–166.
- NYS, Y., ZAWADSZKI, J., GAUTRON, J. a MILLS, A. D. Whitening of brown-shelled eggs: mineral composition of uterine fluid and rate of protoporphyrin deposition. *Poultry Science*. 1991, 70(5), s. 1236–1245.
- OMID, M., SOLTANI, M., DEHROUYEH, M. H., MOHTASEBI, S. S. a AHMADI, H. An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques. *Journal of Food Engineering*. 2013, 118(1), s. 70–77.
- PATEL, V. C., MCCLENDON, R. W. a GOODRUM, J. W. Detection of blood spots and dirt stains in eggs using computer vision and neural networks. *Applied Engineering in Agriculture*. 1996, 12(2), s. 253–258.
- PUNIDADAS, P. a MCKELLAR, R. C. Selected physical properties of liquid egg products at pasteurization temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1999, 23(2), s. 153–169.
- RAAB, M. *Materiály a člověk: (netradiční úvod do současné materiálové vědy)*. 1. vyd. Praha: Encyklopedický dům, 1999, 230 s. ISBN 80-860-4413-0.
- RAGNI, L., CEVOLI, CH. a BERARDINELLI, A. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters. *Journal of Food Engineering*. 2010, 100(2), s. 343–348.
- RAGNI, L., BERARDINELLI, A. a GUARNIERI, A., A dielectric technique based on a onechip network analyser to predict the quality indices of shell eggs. *Biosystems Engineering*. 2008, 100(4), s. 470 – 478.
- RAGNI, L., AL-SHAMI, A., MIKHAYLENKO, G. a TANG, J. Dielectric characterization of hen eggs during storage. *Journal of Food Engineering*. 2007a, 82(4), s. 450–459.
- RAGNI, L., AL-SHAMI, A., BERARDINELLI, A., MIKHAYLENKO, G. a TANG, J. Quality evaluation of shell eggs during storage using a dielectric technique. *Transactions of the ASABE*. 2007b, 50(4), s. 1331–1340.
- RAGNI, L., GRADARI, P., BERARDINELLI, A., GIUNCHI, A. a GUARNIERI, A. Predicting quality parameter of shell eggs using a simple technique based on the dielectric properties. *Biosystems Engineering*. 2006, 94(2), s. 255–262.

- RIBEIRO, A., GARCIA-ALEGRE, M. C., GUINEA, D. a CRISTOBAL, G. Automatic rules generation by G.A. for eggshell defect classification. *European Congress on Computational Methods in Applied Science and Engineering*. Spain. 2000, s. 1–11.
- SAAD, M., SADOUDI, A., RONDET, E. a CUQ, B. Morphological characterization of wheat powders, how to characterize the shape of particles. *Journal of Food Engineering*. 2011, 102(4), s. 293–301.
- SAMLI, H. E., AGMA, A. a SENKOYLU, N. Effects of storage time and temperature on egg quality in old laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2005, 14(3), s. 548–553.
- SCALZO, A. M., DICKERSON, R. W., PEELER, J. T. a READ, R. B. The viscosity of egg and egg products. *Food Technology*. 1970, 24, s. 1301–1307.
- SEVERA, L., NEDOMOVÁ, Š., BUCHAR, J. a ČUPERA, J. Novel approaches in mathematical description of hen egg geometry. *International Journal of Food Properties*. 2013, 16(7), s. 1472–1482.
- SEVERA, L. a NEDOMOVÁ, Š. *Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, 116 s. ISBN 978-807-3755-218.
- SEVERA, L., NEDOMOVÁ, Š. a BUCHAR, J. Influence of storing time and temperature on the viscosity of an egg yolk. *Journal of Food Engineering*. 2010, 96(2), s. 266–269.
- SEVERA, L. *Tixotropní chování vybraných druhů potravin*. Brno, 2008. 113 s. Habilitační práce. Mendelova univerzita v Brně.
- SCHWAGELE, F., POSER, R. a KROCKEL, L. Application of low-resolution NMR spectroscopy of intact eggs - Measurement of quality determining physical characteristics. *Fleischwirtschaft*. 2001, 81(10), s. 103–106.
- SILVERSIDES, F. G. a BUDGELL, K. The relationships among measures of egg albumen height, ph, and whipping volume. *Poultry Science*. 2004, 83(10), s. 1619–1623.
- SILVERSIDES, F. G. a SCOTT, T. A. Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens. *Poultry Science*, 2001, 80(8), s. 1240–1245.
- SILVERSIDES, F. G. a VILLENEUVE, P. Is the Haugh unit correction for egg weight valid for eggs stored at room temperature? *Poultry Science*. 1994, 73(1), s. 50–55.
- SIMEONOVÁ, J., MÍKOVÁ, K., KUBIŠOVÁ, S. a INGR, I. *Technologie drůbeže, vajec a minoritních živočišných produktů*. Vyd. 2., nezměn. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 239 s. ISBN 978-807-3758-912.
- SINHA, D. N., JOHNSTON, R. G., GRACE, W. K. a LEMANSKI, C. L. Acoustic resonances in chicken eggs. *Biotechnology Progress*. 1992, 8(3), s. 240–243.
- SOLOMON, S. E. The eggshell: strength, structure and function. *British Poultry Science*. 2010, 51(sup1), s. 52–59.
- SOLOMON, S. E. *Egg and Eggshell Quality*. 1. vyd. Ames: Iowa State University Press, 1997. 149 s. ISBN 0-8138-2827-9.

- SONG, K. T., CHOI, S. H. a OH, H. R. A comparison of egg quality of pheasant, chukar, quail and guinea fowl. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*. 2000, 13(7), s. 986–990.
- STADELMAN, W. J. a COTTERILL, O. J. *Egg science and technology*. 4. vyd. New York: Food Products Press, 1995, 590 s. ISBN 15-602-2855-5.
- STEFFE, J. F. *Rheological methods in food process engineering*. 2. vyd. East Lansing, MI: Freeman Press, 1996, 418 s. ISBN 09-632-0361-4.
- STEIN, E. a SHAKARCHI, R. *Fourier Analysis: an introduction*. Princeton: Princeton University Press, 2003, 328 s.. ISBN 0-691-11384-X.
- STEINHAUSEROVÁ, I., SIMEONOVÁ, J., NÁPRAVNÍKOVÁ, E. a TREMLOVÁ, B. *Produkce a zpracování drůbeže, vajec a medu*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2003, 82 s. ISBN 80-7305462-0.
- STRNKOVÁ, J., NEDOMOVÁ, Š., TRNKA, J., BUCAR, J. a KUMBÁR, V. Behaviour of eggshell membranes at tensile loading. *Bulgarian Chemical Communication*. 2015. (In print).
- STRNKOVÁ, J., NEDOMOVÁ, Š., TRNKA, J., BUCAR, J. a SIMEONOVÁ, J. Behavior of cracked eggs at non-destructive impact. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*. 2014a, 3(3), s. 43–50.
- STRNKOVÁ, J., NEDOMOVÁ, Š., TRNKA, J. a BUCAR, J. Behaviour of eggshell membranes at tensile loading. In: *XI<sup>th</sup> International Conference of Food Physicists Food Physics and Innovative Technologies*. Bulgaria, Plovdiv. 2014b, s. 57–58.
- STRNKOVÁ, J., NEDOMOVÁ, Š. a BUCAR, J. Effect of the cracks on the eggshell response to non destructive impact. In: *BioPhys Spring 2013*. Poland, Lublin. 2013a, s. 53–54. ISBN 978-83-89969-04-0.
- STRNKOVÁ, J. a NEDOMOVÁ, Š. Eggshell crack detection using dynamic frequency analysis. In: ŠKARPA, P., RYANT, P., CERKAL, R., POLÁK, O. a KOVÁRNÍK, J. *MendelNet 2013 - Proceedings of International PhD Students Conference*. Czech Republic, Brno. 2013b, s. 603–608. ISBN 978-80-7375-908-7.
- STRNKOVÁ, J., NEDOMOVÁ, Š. a BUCAR, J. Nedestruktivní hodnocení kvality vajec v průběhu jejich skladování. In: *XV. konference mladých vědeckých pracovníků s mezinárodní účastí*. Czech Republic, Brno, 2013c, s. 71–73. ISBN 978-80-7305-650-6.
- SUN, L., CAI, J. R., LIN, H., ZHAO, J. W. a BI, X. K. On-line estimation of eggshell strength based on acoustic impulse response analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2013, 18, s. 220–225.
- TAN, C. K., CHEN, T. W., CHAN, H. L. a NG, L. S. A scanning and transmission electron microscopic study of the membranes of chicken egg. *Histology and Histopathology*. 1992, 7(3), s. 339–345.
- TANG, J. Dielectric properties of food. In: SCHUBERT, H. a REGIER, M. *The microwave processing of foods*. London: CRC Press, Woodhead Publishing Limited, 2005, s. 22–40. ISBN 978-1-85573-964-2.



- TELIS-ROMERO, J., THOMAZ, C. E. P., BERNARDI, M., TELIS, V. R. N. a GABAS, A. L. Rheological properties and fluid dynamics of egg yolk. *Journal of Food Engineering*. 2006, 74(2), s. 191–197.
- TERNES, W. a WERLEIN, H. D. Viscosity of egg-yolk in a high-temperature range in correlation to salt, sugar, acid and alcohol. *Archiv Für Geflügelkunde*. 1987, 51(5), s. 173–179.
- TILKI, M. a INAL, S. Quality traits of goose eggs: 2. Effects of goose origin and storage time of eggs. *Archiv Für Geflügelkunde*. 2004, 68(5), s. 230–234.
- TILKI, M. a SAATCI, M. Effects of storage time on external and internal characteristics in partridge (*Alectoris graeca*) eggs. *Revue de Médecine Vétérinaire*. 2004, 155(11), s. 561–564.
- TONA, K., BAHE, K., KAMERS, B., MERTENS, K., KEMPS, B., ONAGBESAN, O. M., DECUYPERE, E. a GBEASSOR, M. Effects of egg storage conditions on eggshell resonant frequency and albumen characteristics. *International Journal of Poultry Science*. 2013, 12(3), s. 130–134.
- TORRES, F. G., TRONCOSO, O. P., PIAGGIO, F. a HIJAR, A. Structure-property relationships of a biopolymer network: The eggshell membrane. *Acta Biomaterialia*. 2010, 6(9), s. 3687–3693.
- TOUSSANT, M. J. a LATSHAW, J. D. Ovomucin content and composition in chicken eggs with different interior quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1999, 79(12), s. 1666–1670.
- TRNKA, J., DVOŘÁKOVÁ, P., NEDOMOVÁ, Š., SEVERA, L. a BUCHAR, J. Fracture of the eggshell under impact. In: *Book of Contributions of 46<sup>th</sup> International Scientific Conference "EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS 2008"*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava. 2008, s. 171–175. ISBN 978-80-248-1774-3.
- TUNG, M. A., WATSON, E. L. a RICHARDS, J. F. Rheology of egg albumen. *Transactions of the ASAE*. 1971, 14(1), s. 17–19.
- TUNG, M. A., RICHARDS, J. F., MORRISON, B. C. a WASTSON, E. L. Rheology of fresh, aged and gamma-irradiated egg white. *Journal of Food Science*. 1970, 35(6), s. 872–874.
- USTUROI, M. G. Contribution regarding the effect provided by storage conditions on quality of consumption eggs. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie și Tehnologii de Industrie Alimentară*. 2011, 10, s. 391–398.
- VENKATESH, M. S. a RAGHAVAN, G. S. V. An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems Engineering*. 2004, 88(1), s. 1–18.
- WANG, Z. a HIRAI, S. Finite element modeling and physical property estimation of rheological food objects. *Journal of Food Research*. 2012, 1(1), s. 48–67.
- WANG, J. a JIANG, R. Eggshell crack detection by dynamic frequency analysis. *European Food Research and Technology*. 2005, 221(1–2), s. 214–220.

WONG, Y. C., HERALDS, T. J. a HACHMEISTER, K. A. Evaluation of mechanical and barrier properties of protein coatings on shell eggs. *Poultry Science*. 1996, 75(3), s. 417–422.

YANG, S. H., CHEN, H. L. a WEI, CH. Quality control on thousand year egg with vibration identification. In: *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Modal Analysis Conference*. Nashville. 1995, s. 1242–1247.

YILDIZ, A., LACIN, E., HAYIRLI, A. a MACIT, M. Effects of Cage Location and Tier Level with Respect to Light Intensity in Semiconfined Housing on Egg Production and Quality During the Late Laying Period. *The Journal of Applied Poultry Research*. 2006, 15(3), s. 355–361.

ZITA, L., LEDVINKA, Z. a KLESALOVÁ, L. The effect of the age of Japanese quails on certain egg quality traits and their relationships. *Veterinarski Arhiv*, 2013, 83(2), s. 223–232.

ZITA, L., LEDVINKA, Z., TŮMOVÁ, E. a KLESALOVÁ, L. Technological quality of eggs in relation to the age of laying hens and Japanese quails. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2012, 41(9), s. 2079–2084.

## 8 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

### Seznam tabulek

Tab. 1 Souhrnné závislosti zjištěné při sledování dielektrických vlastností vajec během skladování (Ragni <i>et al.</i> , 2007a).....	14
Tab. 2 Procentuálního zastoupení žloutku, bílku a skořápky vejce a hmotnost vejce pro vybrané druhy drůbeže (Nys <i>et al.</i> , 2011; Simeonovová <i>et al.</i> , 2013) .....	16
Tab. 3 Chemické složení vaječných tekutin pro vejce různých druhů drůbeže (Nys <i>et al.</i> , 2011; Simeonovová <i>et al.</i> , 2013).....	16
Tab. 4 Průměrné složení žloutku vajec různých druhů drůbeže (Nys <i>et al.</i> , 2011; Simeonovová <i>et al.</i> , 2013) .....	17
Tab. 5 Zastoupení mastných kyselin žloutku vajec vybraných druhů drůbeže (%) (Barteczko <i>et al.</i> , 2005; Nys <i>et al.</i> , 2011; Simeonovová <i>et al.</i> , 2013) .....	18
Tab. 6 Průměrné složení bílku vajec různých druhů drůbeže (Song <i>et al.</i> , 2000; Simeonovová <i>et al.</i> , 2013) .....	20
Tab. 7 Hodnoty veličin popisujících vnitřní kvalitu vajec (Amer, 1972; Song <i>et al.</i> , 2000) .....	28
Tab. 8 Parametry tokových křivek (Atilgan a Unluturk, 2008) .....	33
Tab. 9 Vliv tlaku na reologické parametry vaječných tekutin pomocí Herschel-Bulkleyova modelu (Ahmed <i>et al.</i> , 2003) .....	34
Tab. 10 Základní typy odezvy (Bilošová, 2009).....	41
Tab. 11 Hmotnost a základní rozměry slepičích vajec .....	58
Tab. 12 Významné poloměry křivosti slepičích vajec .....	58
Tab. 13 Veličiny spojené s průmětem skořápky do roviny obsahující osu symetrie .....	59
Tab. 14 Základní statistická data veličin prezentovaných na Obr. 29 – Obr. 34.....	62
Tab. 15 Významné poloměry křivosti křepelčích vajec.....	62
Tab. 16 Statistické údaje o veličinách znázorněných na Obr. 36 a Obr. 37.....	63
Tab. 17 Základní statistické údaje o geometrii husích vajec.....	64
Tab. 18 Významné poloměry křivosti husích vajec .....	64
Tab. 19 Veličiny spojené s průmětem skořápky do roviny obsahující osu symetrie .....	64
Tab. 20 Základní data o tloušťce skořápek slepičích vajec.....	66
Tab. 21 Základní data o tloušťce skořápek husích vajec .....	66
Tab. 22 Základní data o tloušťce skořápek křepelčích vajec .....	66
Tab. 23 Tloušťka podskořápkových blan v (mm).....	66
Tab. 24 Základní statistické údaje o průměrných hodnotách poloměru křivosti v (mm).....	68
Tab. 25 Základní vlastnosti vaječných tekutin slepičích vajec – pH .....	69
Tab. 26 Základní vlastnosti vaječných tekutin slepičích vajec – hustota a sušina .....	70
Tab. 27 Úbytek hmotnosti slepičích vajec (g) v průběhu skladování .....	70
Tab. 28 Geometrie bílku slepičích vajec.....	71
Tab. 29 Vlastnosti žloutku slepičích vajec.....	72
Tab. 30 Základní vlastnosti vaječných tekutin křepelčích vajec – pH.....	73
Tab. 31 Základní vlastnosti vaječných tekutin křepelčích vajec – hustota a sušina.....	73
Tab. 32 Úbytek hmotnosti křepelčích vajec (g) v průběhu skladování.....	73
Tab. 33 Geometrie bílku křepelčích vajec v (mm) .....	74
Tab. 34 Vlastnosti žloutku křepelčích vajec .....	75
Tab. 35 Základní vlastnosti vaječných tekutin husích vajec – pH.....	76
Tab. 36 Základní vlastnosti vaječných tekutin husích vajec – hustota a sušina.....	76
Tab. 37 Úbytek hmotnosti husích vajec (g) v průběhu skladování .....	76
Tab. 38 Geometrie bílku husích vajec .....	77
Tab. 39 Vlastnosti žloutků husích vajec .....	78
Tab. 40 Parametry Herschel-Bulkleyova modelu pro vaječné tekutiny slepičích vajec .....	83
Tab. 41 Parametry Herschel-Bulkleyova modelu pro vaječné tekutiny křepelčích vajec .....	91
Tab. 42 Parametry Herschel-Bulkleyova modelu pro vaječné tekutiny husích vajec .....	101
Tab. 43 Porovnání Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waele modelů pro vaječné tekutiny husích vajec ( $R^2$ označuje koeficient korelace).....	109
Tab. 44 Porovnání Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waele modelů pro vaječné tekutiny slepičích vajec ( $R^2$ označuje koeficient korelace).....	109

Tab. 45 Porovnání Herschel-Bulkleyova a Ostwald-de Waele modelů pro vaječné tekutiny křepelčích vajec ( $R^2$ označuje koeficient korelace) .....	110
Tab. 46 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	115
Tab. 47 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	116
Tab. 48 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	116
Tab. 49 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	117
Tab. 50 Základní údaje pro blány slepičích vajec, rychlost zatěžování $800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	117
Tab. 51 Parametry rovnice popisující vliv rychlosti zatěžování na mez pevnosti blan slepičích vajec ...	118
Tab. 52 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	120
Tab. 53 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	121
Tab. 54 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	122
Tab. 55 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	123
Tab. 56 Základní údaje pro blány křepelčích vajec, rychlost zatěžování $800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	124
Tab. 57 Parametry rovnice popisující vliv rychlosti zatěžování na mez pevnosti blan křepelčích vajec.	126
Tab. 58 Parametry $a, b$ popisující vliv rychlosti zatěžování na velikost lomové deformace blan křepelčích vajec .....	126
Tab. 59 Parametry $a, b$ popisující vliv rychlosti zatěžování na velikost skutečné lomové deformace blan křepelčích vajec.....	127
Tab. 60 Parametry $a, b$ popisující vliv rychlosti zatěžování na velikost deformační energie blan křepelčích vajec .....	127
Tab. 61 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	128
Tab. 62 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	129
Tab. 63 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	130
Tab. 64 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	131
Tab. 65 Základní údaje pro blány husích vajec, rychlost zatížení $800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	132
Tab. 66 Vliv rychlosti zatěžování na mez pevnosti blan husích vajec, $UTS(MPa) = a + bv^n$ .....	134
Tab. 67 Vliv rychlosti zatěžování na lomovou deformaci blan husích vajec, $\varepsilon = av + b$ .....	134
Tab. 68 Vliv rychlosti zatěžování na skutečnou lomovou deformaci blan husích vajec, $\varepsilon = av + b$ ...	134
Tab. 69 Vliv rychlosti zatěžování na deformační energii blan husích vajec, $W = a + bv^n$ .....	134
Tab. 70 Parametry časového průběhu rázové síly v 1. týdnu skladování – slepičí vejce.....	136
Tab. 71 Parametry časového průběhu rázové síly ve 2. týdnu skladování – slepičí vejce .....	137
Tab. 72 Parametry časového průběhu rázové síly ve 3. týdnu skladování – slepičí vejce .....	137
Tab. 73 Parametry časového průběhu rázové síly ve 4. týdnu skladování – slepičí vejce .....	137
Tab. 74 Parametry časového průběhu rázové síly v 5. týdnu skladování – slepičí vejce.....	138
Tab. 75 Parametry časového průběhu rázové síly v 6. týdnu skladování – slepičí vejce.....	138
Tab. 76 Parametry časového průběhu rázové síly v 7. týdnu skladování – slepičí vejce.....	138
Tab. 77 Parametry časového průběhu rázové síly v 8. týdnu skladování – slepičí vejce.....	139
Tab. 78 Parametry časového průběhu rázové síly v 1. týdnu skladování – křepelčí vejce .....	141
Tab. 79 Parametry časového průběhu rázové síly ve 4. týdnu skladování – křepelčí vejce.....	142
Tab. 80 Parametry časového průběhu rázové síly v 8. týdnu skladování – křepelčí vejce .....	142
Tab. 81 Parametry časového průběhu rázové síly ve 12. týdnu skladování – křepelčí vejce.....	142
Tab. 82 Parametry časového průběhu rázové síly v 16. týdnu skladování – křepelčí vejce .....	143
Tab. 83 Parametry časového průběhu rázové síly v 1. týdnu skladování – husí vejce.....	145

### Seznam obrázků

Obr. 1 Elektromagnetické spektrum (Severa a Nedomová, 2011).....	12
Obr. 2 Transmise elektromagnetického záření vrstvou zkoumaného materiálu (potraviný) (Severa a Nedomová, 2011).....	13
Obr. 3 Schéma spektrální metody hodnocení kvality vajec (Liu <i>et al.</i> , 2007).....	15
Obr. 4 Vliv věku nosnic a stáří vajec na Haughovy jednotky (Bell a Weaver, 2001).....	24
Obr. 5 Vliv teploty a doby skladování na Haughovy jednotky (Jin <i>et al.</i> , 2011).....	25
Obr. 6 Unášení viskózní kapaliny mezi dvěma rovnoběžnými deskami (Severa a Nedomová, 2011).....	29
Obr. 7 Příčný řez geometrií rotačního reometru (Severa a Nedomová, 2011).....	31
Obr. 8 Morfologie skořápky a vaječných blan (Hincke <i>et al.</i> , 2000).....	37
Obr. 9 Příklad závislosti napětí – deformace stanovený pro tahové zatěžování vzorku blány slepičího vejce .....	37
Obr. 10 Experimentální zařízení pro zatěžování vajec rázem kuličky (De Ketelaere <i>et al.</i> , 2004) .....	38

Obr. 11 Schéma definice odezvvé funkce $H(\omega)$ .....	40
Obr. 12 Rotační viskozimetr Anton Paar DV-3P (Severa, 2008) .....	47
Obr. 13 Schematické znázornění mechanismu měření (Severa, 2008) .....	47
Obr. 14 Přístroj TIRAtest 27025 .....	50
Obr. 15 Schéma rázového zatěžování vajec (levá část), na pravé straně je pohled na křepelčí vejce, na které dopadl razník, terčik je v místě, kde se snímá výchylka povrchu .....	50
Obr. 16 Schéma poloměrů křivosti a oskulačních kružnic .....	54
Obr. 17 Distribuce základních rozměrů slepičích vajec .....	54
Obr. 18 Distribuce tvarových indexů slepičích vajec .....	55
Obr. 19 Distribuce ekvivalentního průměru slepičích vajec .....	55
Obr. 20 Rozložení kruhovitosti slepičích vajec .....	55
Obr. 21 Rozložení velikosti povrchu vaječné skořápky .....	56
Obr. 22 Rozložení objemu slepičích vajec .....	56
Obr. 23 Rozdíl mezi naměřeným obrysem a obrysem stanoveným pomocí Fourierovy řady .....	57
Obr. 24 Průběh poloměru křivosti slepičího vejce .....	57
Obr. 25 Rozložení význačných poloměrů kružnice slepičích vajec .....	57
Obr. 26 Rozložení délek průmětu slepičích vajec .....	58
Obr. 27 Rozložení ploch průmětu slepičích vajec .....	59
Obr. 28 Rozložení veličin definovaných v rovnicích (8) – (10) pro slepičí vejce .....	59
Obr. 29 Četnost hmotností křepelčích vajec .....	60
Obr. 30 Distribuce tvarových indexů křepelčích vajec .....	60
Obr. 31 Rozložení ekvivalentních průměrů křepelčích vajec .....	60
Obr. 32 Kulovitost křepelčích vajec .....	61
Obr. 33 Povrch vaječné skořápky stanovený pomocí rovnice (4) pro křepelčí vejce .....	61
Obr. 34 Objem vaječné skořápky stanovený pomocí rovnice (4) pro křepelčí vejce .....	61
Obr. 35 Příklad průběhu poloměru křivosti obrysové křivky skořápky křepelčího vejce .....	62
Obr. 36 Distribuce délky a plochy průmětu skořápky do roviny obsahující osu symetrie .....	63
Obr. 37 Distribuce veličin stanovených pomocí rovnic (8) – (10) pro křepelčí vejce .....	63
Obr. 38 Distribuce tloušťek skořápek u křepelčích vajec .....	65
Obr. 39 Distribuce tloušťek skořápek u husích vajec .....	65
Obr. 40 Distribuce tloušťek skořápek u slepičích vajec .....	65
Obr. 41 Distribuce průměrných velikostí poloměrů křivosti pro slepičí vejce .....	67
Obr. 42 Distribuce průměrných velikostí poloměrů křivosti pro křepelčí vejce .....	67
Obr. 43 Distribuce průměrných velikostí poloměrů křivosti pro husí vejce .....	68
Obr. 44 Relativní úbytek hmotnosti vajec v průběhu skladování .....	79
Obr. 45 Vliv doby skladování na Haughovy jednotky .....	79
Obr. 46 Vliv doby skladování na index bílku .....	80
Obr. 47 Vliv doby skladování na index žloutku .....	80
Obr. 48 Závislost smykového napětí na rychlosti deformace pro tekutiny slepičích vajec .....	81
Obr. 49 Vliv rychlosti deformace na zdánlivou viskozitu pro tekutiny slepičích vajec .....	82
Obr. 50 Vliv doby skladování na tokové vlastnosti žloutku slepičích vajec .....	82
Obr. 51 Vývoj viskozity žloutku slepičích vajec s dobou skladování .....	83
Obr. 52 Vliv doby skladování na viskozitu žloutku slepičích vajec .....	84
Obr. 53 Vliv doby skladování na viskozitu bílku slepičích vajec .....	84
Obr. 54 Vliv doby skladování na viskozitu melanže slepičích vajec .....	84
Obr. 55 Vývoj viskozity žloutku slepičích vajec s časem .....	85
Obr. 56 Vývoj viskozity bílku slepičích vajec s časem .....	86
Obr. 57 Vývoj viskozity melanže slepičích vajec s časem .....	87
Obr. 58 Vliv rychlosti deformace na smykové napětí pro tekutiny křepelčích vajec .....	91
Obr. 59 Vliv doby skladování na viskozitu žloutku křepelčích vajec .....	92
Obr. 60 Vliv doby skladování na viskozitu bílku křepelčích vajec .....	92
Obr. 61 Vliv doby skladování na viskozitu melanže křepelčích vajec .....	92
Obr. 62 Časová závislost viskozity žloutku křepelčích vajec v průběhu skladování .....	93
Obr. 63 Časová závislost viskozity bílku křepelčích vajec v průběhu skladování .....	94
Obr. 64 Časová závislost viskozity melanže křepelčích vajec v průběhu skladování .....	95
Obr. 65 Vliv doby skladování na tokové křivky žloutku husích vajec .....	100
Obr. 66 Vliv doby skladování na tokové křivky bílku husích vajec .....	100
Obr. 67 Vliv doby skladování na tokové křivky melanže husích vajec .....	100
Obr. 68 Vliv rychlosti deformace na viskozitu vaječných tekutin husích vajec .....	101

Obr. 69 Vliv doby skladování na viskozitu žloutku husích vajec .....	102
Obr. 70 Vliv doby skladování na viskozitu bílku husích vajec .....	102
Obr. 71 Vliv doby skladování na viskozitu melanže husích vajec .....	102
Obr. 72 Časová závislost viskozity žloutku husích vajec v průběhu skladování .....	103
Obr. 73 Časová závislost viskozity bílku husích vajec v průběhu skladování .....	103
Obr. 74 Časová závislost viskozity melanže husích vajec v průběhu skladování .....	103
Obr. 75 Viskozita žloutků sledovaných vajec .....	106
Obr. 76 Viskozita bílků sledovaných vajec .....	106
Obr. 77 Viskozita melanže sledovaných vajec .....	106
Obr. 78 Rozdíly mezi viskozitami melanže sledovaných vajec .....	107
Obr. 79 Časové závislosti viskozity žloutků (rychlost deformace $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ ) .....	107
Obr. 80 Časové závislosti viskozity bílků (rychlost deformace $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ ) .....	108
Obr. 81 Časové závislosti viskozity melanže (rychlost deformace $\dot{\gamma} = 40 \text{ s}^{-1}$ ) .....	108
Obr. 82 Závislost viskozity žloutku slepičích vajec na rychlosti deformace .....	111
Obr. 83 Radiální rozložení velikosti rychlosti proudění žloutku slepičích vajec .....	111
Obr. 84 Chyba objemového toku – žloutek slepičích vajec .....	112
Obr. 85 Schéma vzorku pro tahové zkoušky podskořápkových blan sledovaných vajec .....	113
Obr. 86 Vliv doby skladování na průběh závislosti napětí – deformace u podskořápkových blan slepičích vajec .....	115
Obr. 87 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na mez pevnosti blan slepičích vajec .....	118
Obr. 88 Velikost deformace při lomu pro slepičí vejce .....	119
Obr. 89 Velikost skutečné deformace při lomu pro slepičí vejce .....	119
Obr. 90 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na energii absorbovanou blanou až do lomu – pro slepičí vejce .....	119
Obr. 91 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na mez pevnosti blan křepelčích vajec .....	124
Obr. 92 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na lomovou deformaci blan křepelčích vajec .....	125
Obr. 93 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na skutečnou lomovou deformaci blan křepelčích vajec .....	125
Obr. 94 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na energii absorbovanou blanou až do lomu – pro křepelčí vejce .....	125
Obr. 95 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na mez pevnosti blan husích vajec .....	132
Obr. 96 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na lomovou deformaci blan husích vajec .....	133
Obr. 97 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na skutečnou lomovou deformaci blan husích vajec .....	133
Obr. 98 Vliv rychlosti zatěžování a doby skladování na deformační energii blan husích vajec .....	133
Obr. 99 Časové průběhy rázových sil pro slepičí vejce .....	136
Obr. 100 Průběhy výchylky povrchu vaječné skořápky slepičích vajec .....	139
Obr. 101 Vývoj amplitudy výchylky s dobou skladování – slepičí vejce .....	140
Obr. 102 Frekvenční závislost spektrální funkce posunutí – slepičí vejce .....	140
Obr. 103 Časové průběhy rázových sil pro křepelčí vejce ve 2. týdnu skladování .....	141
Obr. 104 Průběhy výchylky povrchu vaječné skořápky křepelčích vajec .....	143
Obr. 105 Vliv doby skladování na velikost amplitudy výchylky povrchu – křepelčí vejce .....	143
Obr. 106 Frekvenční závislost amplitudy spektrální funkce posunutí povrchu skořápky – křepelčí vejce .....	144
Obr. 107 Frekvenční závislost amplitudy spektrální funkce posunutí povrchu skořápky – křepelčí vejce .....	144
Obr. 108 Vliv doby skladování na rezonanční frekvenci – křepelčí vejce .....	145
Obr. 109 Časové průběhy rázových sil v jednotlivých týdnech skladování pro husí vejce .....	146
Obr. 110 Vývoj posunutí povrchu skořápky s dobou skladování pro husí vejce .....	146
Obr. 111 Změna amplitudy posunutí povrchu skořápky s dobou skladování – husí vejce .....	147
Obr. 112 Amplituda spektrální funkce posunutí povrchu vaječné skořápky – husí vejce .....	147
Obr. 113 Závislost rezonanční frekvence na době skladování pro husí vejce .....	147

## 9 PŘÍLOHY

Přílohy práce jsou uvedeny na přiloženém CD.

### *Seznam příloh*

Tab. 1A – Tab. 1J: Koeficienty Fourierova rozvoje – slepičí vejce.

Tab. 2A – Tab. 2C: Koeficienty Fourierova rozvoje – husí vejce.

Tab. 3A – Tab. 1J: Koeficienty Fourierova rozvoje – křepelčí vejce.