

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**BRNO 2016**

**LUCIE PAVKOVÁ**

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav techniky a automobilové dopravy**

---



Agronomická  
fakulta

Mendelova  
univerzita  
v Brně



**Reologické vlastnosti žloutků slepičích vajec v průběhu  
skladování**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

*Vypracovala:*  
Bc. Lucie Pavková

---

Brno 2016

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Lucie Pavková**  
Studijní program: Chemie a technologie potravin  
Obor: Technologie potravin  
Název tématu: **Reologické vlastnosti žloutků slepičích vajec v průběhu skladování**  
Rozsah práce: 50-60 stran

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte aktuální literární zdroje zabývající se slepičími vejci. Zaměřte se na jejich složení, charakterizující veličiny a technologii přepravy. Prostudujte i legislativní nařízení týkající se uskladnění slepičích vajec.
2. Vytvořte vhodný soubor vzorků stejně starých slepičích vajíček. Prostudujte metodiky vhodné k posouzení reologických vlastností žloutků.
3. Experimentálně stanovte hustotu, viskozitu a smykové napětí vzorku žloutků ve stanovených intervalech. Zaměřte se na závislost smykového napětí a viskozity na rychlosti deformace (smyku).
4. Sestavte tokové křivky a reologické modely. Diskutujte jaký typ tekutiny žloutek reprezentuje. Vhodnost modelů kontrolujte pomocí hodnot koeficientů determinace.
5. Diskutujte získané závislosti měřených veličin a zformulujte závěry práce.

Seznam odborné literatury:

1. STEFFE, J. *Rheological methods in food process engineering*. East Lansing, MI, USA: Freeman Press, 1996. 418 s. ISBN 978-0-9632-0361-8.
2. SEVERA, L. – NEDOMOVÁ, Š. – BUCHAR, J. – SIMEONOVÁ, J. Hen's egg fluids viscosity changes as a function of storing. [CD-ROM]. In Sborník příspěvků XXXV. Semináře o jakosti potravin a potravinových surovin – "Ingrový dny". s. 235–239. ISBN 978-80-7375-281-1.
3. KŘIVÁNEK, I. – BUCHAR, J. – SEVERA, L. Thixotropic properties of egg yolks. *Acta technologica agriculturae*. 2005. sv. 8, č. 3, s. 76–77. ISSN 1335-2555.
4. SEVERA, L. – NEDOMOVÁ, Š. – KŘIVÁNEK, I. – BUCHAR, J. Rheological properties of ageing egg yolk. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2005. sv. LIII, č. 4, s. 127–138. ISSN 1211-8516.
5. WALTERS, K. – HUTTON, J. – BARNES, H. *An Introduction to Rheology*. Philadelphia: Elsevier Science, 1989. 210 s.
6. SEVERA, L. – SIMEONOVÁ, J. – NEDOMOVÁ, Š. – KŘIVÁNEK, I. – BUCHAR, J. Vliv délky a teploty skladování na reologické chování vaječných žloutků. In JÚZL, M. – NEDOMOVÁ, Š. *Sborník souhrnů sdělení XXXIV. Semináře o jakosti potravin a potravinových surovin*. 1. vyd. MZLU v Brně: Ediční středisko, 2008, s. 27. ISBN 978-80-7375-157-9.
7. NEDOMOVÁ, Š. Vznik a vývoj slepičího vejce. *Potravinářská revue*. 2007. č. 1, s. 72–73. ISSN 1801-9102.

Datum zadání diplomové práce: říjen 2014

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2016

L. S.

*Pavková*  
**Bc. Lucie Pavková**  
Autorka práce



*Vojtěch Kumbár*  
**Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.**  
Vedoucí práce

*Čupera*  
**doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.**  
Vedoucí ústavu

*Pavel Ryant*  
**doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.**  
Děkan AF MENDELU

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Reologické vlastnosti žloutků slepičích vajec v průběhu skladování 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 *Směrnicí 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:.....22.4.2016.....

.....  
Peková

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

V první řadě bych ráda poděkovala Ing. Vojtěchovi Kumbárovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi v průběhu vypracování diplomové práce poskytoval. Dále bych ráda poděkovala doc. Ing. Šárce Nedomové, Ph.D. za pomoc se získáním dat a za důležité poznatky týkající se teoretické části práce. A samozřejmě děkuji Ing. Romanovi Pytlovi a paní Jindřišce Jordánové za všestrannou pomoc a jejich pozitivní přístup v průběhu experimentální části práce.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá vlivem doby skladování na vybrané fyzikální a reologické vlastnosti žloutku slepičích vajec. Sledovaná vejce byla skladována při teplotě 6 °C po dobu 8 týdnů. V práci je popsán vliv doby skladování na fyzikální vlastnosti celého slepičího vejce, jako je hmotnost a index tvaru. Dle předpokladů byl prokázán úbytek hmotnosti sledovaných slepičích vajec v průběhu osmitýdenního skladování. Dále byl detailně popsán a zhodnocen žloutek slepičího vejce (barva, výška, šířka, hmotnost, index a hustota žloutku). Dle předpokladů nedocházelo k výrazné změně hmotnosti žloutku v průběhu skladování. U indexu žloutku dochází k výraznému poklesu v průběhu skladování. V poslední části měření byly stanoveny reologické vlastnosti žloutku sledovaných slepičích vajec - zdánlivá viskozita, časová závislost viskozity a smykové napětí v závislosti na smykové rychlosti (tokové křivky). Jednotlivými experimenty bylo prokázáno, že žloutek vykazuje newtonovské chování, a to po celou dobu skladování. Doba skladování má rovněž jednoznačný vliv na tokové vlastnosti žloutku slepičích vajec. Výsledky z jednotlivých experimentů byly zhodnoceny pomocí Ostwald-de Waele (mocninného) modelu.

***Klíčová slova:*** vejce, fyzikální vlastnosti, reologické vlastnosti, smykové napětí, smyková rychlost, viskozita

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the influence of storage time on particular physical and rheological properties of a yolk of chicken eggs. Monitored eggs were stored at 6 °C for 8 weeks. The thesis describes the influence of storage time on physical characteristics of a whole egg, such as weight and shape index. As expected, the weight loss of chicken eggs was demonstrated during eight weeks storing. Egg yolk (colour, height, width, weight, index and density) was also described and evaluated in detail. According to our estimates, there are no significant changes in weight during yolk storing. But yolk index is distinctly decreased. During the final part of monitoring rheological properties were evaluated - apparent viscosity, time dependence of viscosity and dependence of shear stress on the shear rate (flow curves). The experiments have proved Newtonian behaviour of egg yolk throughout the storage. The storage time has also clear impact on flow properties of yolk. The results of each experiment were modelled using the power law (Ostwald-de Waele) model.

**Key words:** Egg, Physical Properties, Rheological Properties, Shear Stress, Shear Rate, Viscosity



## **OBSAH**

1 ÚVOD.....	13
2 CÍL PRÁCE.....	14
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	15
3.1 Spotřeba, vývoz a dovoz slepičích vajec.....	15
3.2 Vznik a vývoj vejce.....	16
3.3 Stavba vejce.....	16
3.3.1 Žloutek .....	17
3.3.1.1 Světlý žloutek.....	17
3.3.1.2 Tmavý žloutek.....	17
3.3.2 Bílek .....	17
3.3.2.1 Vnitřní hustý bílek.....	18
3.3.2.2 Vnitřní řídký bílek.....	18
3.3.2.3 Vnější hustý bílek.....	18
3.3.2.4 Vnější řídký bílek.....	18
3.3.3 Skořápka a podskořápkové blány.....	19
3.4 Chemické složení vejce.....	20
3.4.1 Chemické složení žloutku .....	21
3.4.1.1 Bílkoviny.....	21
3.4.1.2 Lipidy .....	21
3.4.1.3 Sacharidy.....	22
3.4.1.4 Vitamíny a minerální látky.....	22
3.4.2 Chemické složení bílku .....	23
3.4.2.1 Bílkoviny.....	23
3.4.2.2 Lipidy .....	24
3.4.2.3 Sacharidy.....	24
3.4.2.4 Vitamíny a minerální látky.....	24

3.4.3	Skořápka a podskořápkové blány.....	24
3.5	Jakost slepičích vajec .....	25
3.5.1	Morfologické vlastnosti vajec .....	26
3.5.1.1	Tvar a index tvaru vajec .....	26
3.5.1.2	Hmotnost slepičích vajec .....	26
3.5.1.3	Barva skořápky slepičích vajec .....	27
3.5.2	Fyzikálně – chemické vlastnosti vajec .....	27
3.5.2.1	Měrná hmotnost.....	27
3.5.2.2	Bod tuhnutí.....	27
3.5.2.3	Hodnoty pH.....	28
3.5.2.4	Viskozita.....	28
3.5.2.5	Povrchové napětí.....	28
3.5.2.6	Index lomu.....	28
3.5.2.7	Iontové vlastnosti .....	28
3.5.3	Organoleptické vlastnosti slepičích vajec .....	29
3.5.4	Mikrobiologické vlastnosti slepičích vajec .....	29
3.6	Třídění a označování slepičích vajec .....	30
3.6.1	Jakostní třídění .....	30
3.6.2	Hmotnostní třídění slepičích vajec .....	31
3.6.3	Balení slepičích vajec.....	31
3.6.4	Označování slepičích vajec .....	32
3.6.4.1	Značení na obalu .....	32
3.7	Skladování tříděných slepičích vajec .....	33
3.7.1	Chladírenské skladování slepičích vajec.....	34
3.7.2	Konzervace slepičích vajec .....	34
3.8	Přeprava slepičích vajec .....	34
3.9	Zpracování slepičích vajec .....	35

3.9.1 Skladování a transport.....	35
3.9.2 Výtluk a pastérace vaječné hmoty.....	35
3.9.3 Vaječné výrobky .....	37
3.9.3.1 Tekuté vaječné výrobky chlazené .....	37
3.9.3.2 Vaječné hmoty mražené .....	37
3.9.3.3 Vaječné výrobky sušené.....	38
3.9.3.4 Vaječné výrobky ochucené (koncentrované).....	39
3.10 Reologie .....	40
3.10.1 Reologie kapalin.....	40
3.10.1.1 Newtonovské kapaliny .....	41
3.10.1.2 Ne-newtonovské kapaliny .....	42
3.10.2 Reologické vlastnosti slepičích vajec.....	44
3.11 Změna kvality žloutku v průběhu skladování .....	44
4 MATERIÁL A METODIKA.....	46
4.1 Materiál .....	46
4.2 Metodika.....	46
4.2.1 Stanovení hmotnosti a úbytku hmotnosti vajec.....	46
4.2.2 Stanovení indexu tvaru.....	47
4.2.3 Barva žloutku .....	47
4.2.4 Výška a šířka žloutku .....	47
4.2.5 Hmotnost žloutku .....	48
4.2.6 Index žloutku.....	48
4.2.7 Hustota vaječného žloutku .....	48
4.2.8 Tokové vlastnosti žloutku .....	49
4.2.8.1 Viskozita.....	49
4.2.9 Matematický model.....	52
4.3 Statistické zpracování.....	52

5 VÝSLEDKY A DISKUZE.....	53
5.1 Hmotnost vajec a její úbytek v průběhu skladování .....	53
5.2 Index tvaru sledovaných vajec .....	56
5.3 Barva žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování .....	57
5.4 Vliv délky skladování na pokles výšky žloutku.....	58
5.5 Změna šířky žloutku v průběhu skladování .....	60
5.6 Vliv délky skladování na změnu hmotnosti žloutku .....	61
5.7 Závislost změny indexu žloutku na délce skladování .....	63
5.8 Změna hustoty žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování .....	65
5.9 Tokové vlastnosti žloutku sledovaných slepičích vajec.....	66
5.9.1 Vliv rychlosti deformace na smykové napětí vaječného žloutku.....	66
5.9.2 Vliv rychlosti deformace na zdánlivou viskozitu vaječného žloutku .....	69
5.9.3 Časová závislost viskozity žloutku na rychlosti deformace.....	71
6 ZÁVĚR.....	73
7 SEZNAM LITERATURY A ZDROJŮ.....	75
8 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ .....	84
8.1 Seznam tabulek .....	84
8.2 Seznam obrázků .....	85

## 1 ÚVOD

Nejenom výborné nutriční složení, ale také lehká stravitelnost patří mezi dominantní vlastnosti slepičích vajec, a právě díky nim se vejce řadí k základním složkám lidské potravy. Další předností vajec je jejich dostupnost a s ní spojená produkce, která je stabilní v průběhu celého roku. Česká republika se se svou vysokou spotřebou řadí mezi přední konzumenty v Evropě. Tak jako v celém světě i v České republice klesá prodej konzumních skořápkových vajec, s tím souvisí zvyšující se podíl vajec zpracovaných na sušené, mražené nebo kapalné vaječné hmoty. Proto slepičí vejce představují jednu z nejčastěji používaných surovin v potravinářském průmyslu. Právě tyto informace vedou k neustálému zvyšování nároků na jejich kvalitu a ke zdokonalování metod jejich hodnocení.

Kvalita vajec zahrnuje hodnocení vnitřních a vnějších parametrů, které jsou ovlivňovány mnoha faktory, například genotypem či věkem nosnice a také způsobem ustájení či teplotou prostředí. Významným faktorem je vhodné skladování, díky kterému můžeme vysokou kvalitu vejce dodržovat až do doby, kdy je vejce zpracováno spotřebitelem. Mezi vnitřní parametry kvality vejce se řadí podíl žloutku a bílku, dále index žloutku a bílku, barva a hmotnost žloutku či Haughovy jednotky. Vnější ukazatele se zabývají zejména skořápkou, její pevností, tloušťkou, ale také indexem tvaru a hmotností celého vejce. Důležitou roli v průmyslovém zpracování vajec hrají jejich reologické vlastnosti, které jsou nezbytné pro řádnou tvorbu provozních přístrojů. Reologické údaje se také používají v potravinářském inženýrství, kde jsou velmi důležité pro správné použití potrubí a čerpadel k dopravě vaječných tekutin.

V této práci je popsán vliv doby skladování na fyzikální a reologické vlastnosti žloutku slepičích vajec, jehož kvalita ovlivňuje celkovou vnitřní kvalitu vejce.

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo prostudování odborné literatury, která se zaměřuje na jakost slepičích vajec, konkrétně se zaměřením na fyzikální a reologické vlastnosti žloutků slepičích vajec.

Dále bylo cílem laboratorní stanovení vybraných parametrů v závislosti na délce skladování včetně grafického a statistického zpracování. Mezi sledované znaky neporušených vajec patřily hmotnost vajec a její úbytek v průběhu skladování a index tvaru vajec v závislosti na délce skladování. Po rozklepnutí daných vajec docházelo ke stanovení barvy žloutku, délky a výšky žloutku, indexu žloutku a jeho hustoty, to vše opět v závislosti na délce skladování. V poslední řadě došlo ke zhodnocení tokových vlastností žloutků slepičích vajec, mezi které se řadí závislost smykového napětí na rychlosti deformace, dále vliv rychlosti deformace na zdánlivou viskozitu a časová závislost viskozity. Byly sestaveny tokové křivky a následně byly vybrány vhodné reologické modely. Veškerá měření probíhala u slepičích vajec od nosnice hybrida HISEX BROWN, která byla osm týdnů skladována při teplotě 6 °C a relativní vlhkosti 70 – 75 %.

## 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1 Spotřeba, vývoz a dovoz slepičích vajec

Vejsce se jako potravina konzumují od pradávna. V bývalém Československu byla spotřeba slepičích vajec velmi vysoká. Podle některých zdrojů byla tato spotřeba po Izraeli nejvyšší na světě. V devadesátých letech minulého století začala soustavně klesat. Ještě v roce 1993 dosahovala spotřeba vajec 318 kusů na osobu za rok, zatímco v roce 2013 klesla až na 245 kusů (viz Tabulka 1). Do těchto spotřeb jsou započítávána i vejce ve výrobcích a vaječné melanže, což jsou směsi vaječného bílku a žloutku, které se používají v potravinářském průmyslu (*Dostálová, 2015*).

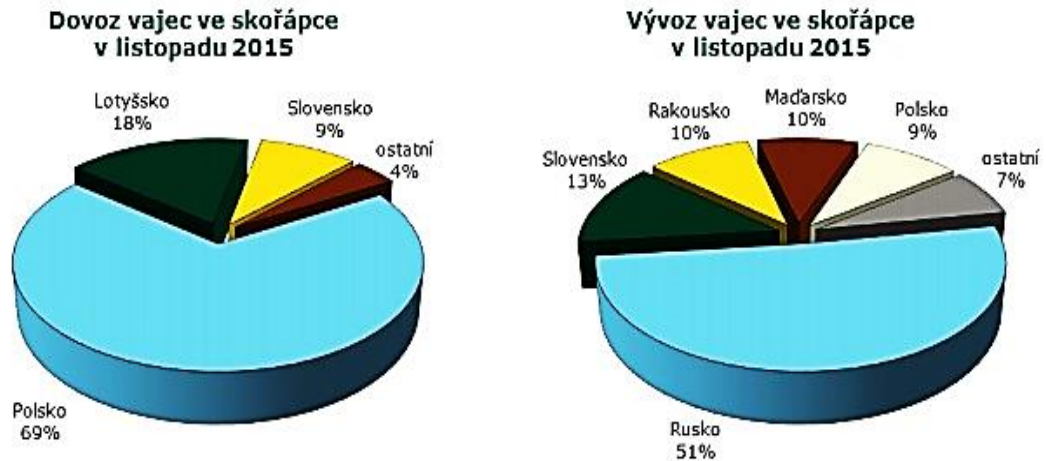
Hlavními výrobci vaječných hmot v Evropě jsou Francie, Belgie a Nizozemsko, které dodávají ročně přes 100 000 tun tekutých vaječných výrobků. Celková roční produkce v Evropě činí neuvěřitelných 800 000 tun (*Václavovský, 2000*).

**Tabulka 1:** Spotřeba slepičích vajec vztažená na obyvatele za rok dle oboru živočišných komodit MZe ČR (*Roubalová, 2013*)

<i>Rok</i>	<i>Počet kusů</i>		<i>Rok</i>	<i>Počet kusů</i>
<b>2004</b>	247		<b>2009</b>	256
<b>2005</b>	246		<b>2010</b>	242
<b>2006</b>	245		<b>2011</b>	257
<b>2007</b>	252		<b>2012</b>	247
<b>2008</b>	270		<b>2013</b>	245

Na obrázku 1 je graficky znázorněno srovnání dovozu a vývozu vajec ve skořápce za měsíc listopad v roce 2015. Dovoz vajec ve skořápce do ČR se v listopadu 2015 oproti říjnu 2015 zvýšil o 991,0 t (31 %) na 4171,3 t. Nejvíce konzumních vajec bylo dovezeno z Polska, téměř 73 %. Do České republiky se dováží také vaječné hmoty, zejména z Polska a násadové vejce ze 72 % ze Slovenska.

Na druhou stranu vývoz vajec ve skořápce z ČR se v listopadu 2015 proti říjnu 2015 snížil o 35 %, z 617,7 t na 1172,5 t. Nejvíce konzumních čerstvých vajec bylo vyváženo na Slovensko (40 %) za 34,81 Kč/kg. Vývoz násadových vajec činil 736,4 t za 97,92 Kč/kg a největší podíl mělo Rusko (78 %). Vaječných hmot se vyvezlo téměř 600 t a nejvíce do Slovenské republiky (*Materna, 2015*).



**Obrázek 1:** Zastoupení vybraných zemí v dovozu a vývozu vajec ve skořápce v listopadu 2015 (Buchlová, 2015)

### 3.2 Vznik a vývoj vejce

Vejce se tvoří v samičím pohlavním ústrojí, do kterého patří vaječník (*ovarium*) a vejcovod (*oviductus*), které se na začátku embryonálního vývoje zakládají jako párové. U kuřecích embryí se od 5. a 6. dne inkubace dále vyvíjí pouze ty levostranné (Kříž, 1997).

Vejce vzniká ze zárodečné buňky ve vaječníku, kde z jednotlivých buněk vznikají ovocysty, které se tvoří od 3. do 14. dne po vylíhnutí kuřete. Ve vaječníku se tvoří 28 000 až 680 000 ovocyst, z nichž jen část dozraje ve vejce. V celém produktivním období může nosnice snést až 1000 vajec. První fází vzniku vejce je tvorba žloutku, což je heterogenní hmota, v níž se pravidelně střídají centrické vrstvy tmavého a světlého žloutku. Žloutek je chráněn žloutkovou membránou. Po ovulaci putuje vajíčko z vaječníku do části vejcovodu, kde se začíná tvořit bílek, který odpovídá až 60 % hmotnosti vejce (Nedomová, 2007). Po tomto kroku následuje tvorba dvou podskořápkových blan. V okamžiku snesení vejce vzniká mezi těmito blanami tzv. komůrka (vzduchová bublina). Závěrečnou fází vývoje vejce je tvorba skořápky, ke které dochází v děloze (Simeonovová a kol., 2003).

### 3.3 Stavba vejce

Vejce se skládá z 3 hlavních částí, žloutku, bílku a skořápky (viz Obrázek 2).



### 3.3.1 Žloutek

Žloutek má v průměru okolo 40 mm a jedná se tak o největší biologickou buňku. Nachází se ve středu vejce a má kulovitý, mírně zploštělý tvar. Žloutek svou velikostí pokrývá jednu třetinu hmotnosti celého vejce. Na jeho povrchu se nachází jemná blanka tzv. vitelinní membrána, jejíž funkcí je ochrana vlastního obsahu žloutku před jeho vyli- tím. Žloutek je tvořen přibližně ze 78 % kapalnou plazmou a z 19 – 23 % granulemi. Jedná se o heterogenní hmotu, ve které se pravidelně střídají centrické vrstvy světlého a tmavého žloutku (*Elkin a kol., 2003*).

Barvu žloutku způsobuje xantofyl, což je karotenoidní pigment, který nosnice získává z potravy. Proto tmavý žloutek vzniká v době, kdy nosnice přijímá potravu a na- opak světlá část se vytváří, když potravu nepřijímá. V každém žloutku se nachází 7 – 11 soustředných kruhů světlého a tmavého žloutku (*Bell a kol., 2002*).

#### 3.3.1.1 Světlý žloutek

Světlý žloutek představuje jen malou část z celkové hmotnosti žloutku (3 – 6 %). Tato část obsahuje více vody než tmavý žloutek a sušina, která je tvořena především pro- teiny, tvoří 13 – 14 %. Světlý žloutek vždy tvoří poslední vrstvu pod žloutkovou mem- bránou a střed žloutku (latebru), která je zřetelně tekutější a zůstává tekutá i po zmrazení nebo varu (*Simeonovová a kol., 2003*).

#### 3.3.1.2 Tmavý žloutek

Tmavý žloutek je významný zejména z hlediska zásobní funkce. Je tvořen z 55 % sušinou, která je složena zejména lipidy (35 %) a proteiny (16 %). Dále pak obsahuje většinu lipofilních karotenoidních barviv. Strukturu tohoto žloutku tvoří zejména částičky různého tvaru a velikosti (*Elkin a kol., 2003*).

### 3.3.2 Bílek

Bílek vyplňuje prostor mezi žloutkem a vnitřní podskořápkovou membránou. Jedná se o viskózní tekutinu, která je z 88 % složená z vody a 12 % vaječných proteinů. Podle obsahu bílkovin rozlišujeme řídký (tekutý) bílek, hustý a nejhustší bílek, který pokrývá žloutkovou kouli (*Sim, 2000*).

Bílek má strukturu, ve které se střídá vrstva hustého bílku, která má strukturu gelu, a vrstva řídkého bílku se strukturou solu. Tyto struktury se liší tekutostí, viskozitou

i pohyblivostí, a také bodem mrznutí. Bílek je složen celkem ze 4 vrstev, vnitřního (chalázového) bílku, vnitřního řídkého bílku, vnějšího hustého a vnějšího řídkého bílku. Při prosvícení musí být bílek hustý a čirý a nesmí se v něm vyskytovat skvrny.

V momentě vyklepnutí čerstvého vejce může být bílek mírně zakalený, což způsobuje nahromadění oxidu uhličitého. Ten však postupně z bílku odchází a zákal tak po čase zmizí (Hejlová, 2001).

#### **3.3.2.1 Vnitřní hustý bílek**

Vnitřní hustý bílek, zvaný chalázový bílek, je první vrstvou bílku, která je spojena s vnější vrstvou vitelinové membrány. Tvoří vak, ve kterém je uložen žloutek, a který je spojen pružnými vláknitými chalázami s podskořápkovou blanou na obou koncích vejce. Chalázový bílek tvoří přibližně 3 % z celkové hmotnosti bílku. Hlavní úlohou vnitřního hustého bílku je udržovat žloutek ve středu vejce a vyrovnávat vliv otřesů, které mohou vznikát při nešetrné manipulaci (Elkin a kol., 2003).

#### **3.3.2.2 Vnitřní řídký bílek**

Množství vnitřního řídkého bílku závisí na plemenné příslušnosti nosnice, věku a teplotě vejce při skladování a obvykle tvoří asi 17 % z celkového bílku. Množství tohoto bílku se zvyšuje při delším skladování. Strukturou se jedná o koloidní roztok bílkovin, zvaný sol (Steinhauserová, 2003).

#### **3.3.2.3 Vnější hustý bílek**

Vnější hustý bílek tvoří 57 % z celkové hmotnosti bílku. Má gelovitou strukturu, proto bývá označen také jako tuhý bílek. Tvoří bílkový vak, ve kterém je uložen žloutek, a jeho hlavní funkcí je ochrana žloutku před mechanickým poškozením. Množství a hustota tohoto bílku je ukazatelem čerstvosti vejce a jeho obsah velmi kolísá (Simeonovová, 2013).

#### **3.3.2.4 Vnější řídký bílek**

Vnější řídký bílek je poslední částí bílku a strukturou se jedná o sol složený z roztoku globulárních bílkovin ve vodě. Představuje přibližně 23 % objemu bílku. Vnější řídký bílek obsahuje v porovnání s vnitřním řídkým bílkem více vody (Simeonovová, 2013).

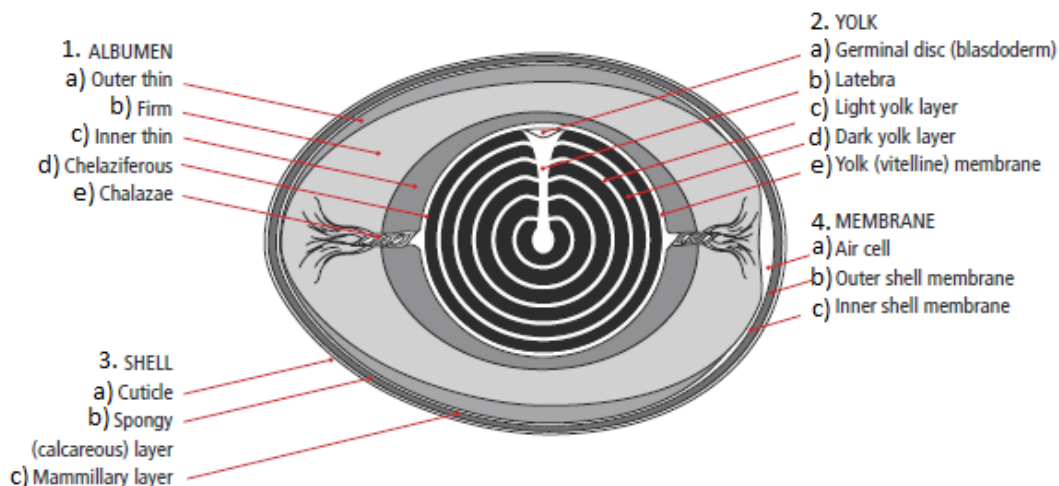
### 3.3.3 Skořápka a podskořápkové blány

Skořápka je poslední obal, který mechanicky chrání vajíčko. Je převážně vápenatého charakteru a k její tvorbě dochází v krčku vejcovodu. Struktura skořápky je tvořena 2 vrstvami a to kutikulou a póry. První vrstva (mamilární) je nejvnitřnější částí skořápky a dosahuje průměrné tloušťky přibližně 0,11 mm (*Kříž, 1997*). Druhá vrstva (spongiózní) je silnější a její průměrná tloušťka činí až 0,23 mm. Krystalky uhličitanu vápenatého tvoří její anorganickou část a vytvářejí síť nepravidelných kanálků a prostorů, kterou jsou na povrchu vyústěny ve formě pórů (*Špaček a kol., 1980*).

Většina kvalitních vaječných skořápek obsahuje až 2,2 g vápníku a to ve formě uhličitanu vápenatého, který tak tvoří téměř 95 % hmotnosti suché skořápky. Vaječná skořápka dále obsahuje asi 0,3 % fosforu a 0,3 % hořčíku a prvky jako jsou sodík, draslík, zinek, mangan, železo a měď ve stopových množstvích. Složení skořápky se v dnešní době ovlivňuje zejména krmnou dávkou jednotlivých nosnic (*Butcher, 2015*).

Skořápka je nesmírně důležitá ze dvou hlavních důvodů. Zaprvé, vytváří zárodečný prostor pro vyvíjející se mládě, poskytuje mu mechanickou ochranu a zajišťuje výměnu plynového média. Druhou významnou funkcí je ochrana vaječného obsahu a skořápka se tak stává obalem velmi hodnotné potraviny (*Hunton, 2005*).

Podskořápkové blány (*membranae testae*) se rozdělují na vnitřní blánu, která je tenčí a je v těsném kontaktu s bílkem, a vnější blánu, která je silnější a je připojena ke skořápce. Důležitou schopností obou skořápkových blán je propouštění vlhkosti a plynů a současně chrání vejce před nežádoucím vniknutím mikroorganismů. Mezi oběma blánami je vzduchová komůrka, která se nachází na tupém konci vejce. Tato komůrka bezprostředně po snesení zaniká (*Bell a kol., 2002*).



**Obrázek 2:** Morfologie slepičího vejce – **1. bílek** [a) vnější řídký, b)vnější hustý, c) vnitřní řídký, d) vnitřní hustý, e) chaláza], **2. žloutek** [a) zárodečný terčík, b) latebra, c) vrstva světlého žloutku, d) vrstva tmavého žloutku, e) žloutková membrána], **3. skořápka** [a) kutikula, b) houbovitá vrstva, c) mamilární vrstva], **4. membrána** [a) vzduchová komůrka, b) vnější skořápková membrána, c) vnitřní skořápková membrána] (Bradley a King, 2004)

### 3.4 Chemické složení vejce

Slepičí vejce patří díky vysoké výživové hodnotě k nevhodnějším potravinám. Řadí se mezi potraviny s nejvyváženějším obsahem nutričně významných látek a zároveň i vysokou stravitelností, která u žloutku dosahuje až 100 %. Dominantními složkami vaječné sušiny jsou bílkoviny, které jsou biologicky hodnotnější než bílkoviny masa nebo mléka (Boháčková, 2014).

Slepičí vejce je tvořeno z 64 % z bílku a 36 % ze žloutku (viz Tabulka 2). Bílek obsahuje přibližně 12 % sušiny, která je převážně složena z bílkovin, dále pak malého množství minerálních látek, cukrů a pouze stopového množství tuků. Na druhé straně žloutek je tvořen z 50 % sušinou, která je ze 2/3 složená z tuků a z 1/3 z bílkovin (Parkinson, 2006).

Vejce je výborným a levným zdrojem velmi kvalitních proteinů, dále je dobrým zdrojem dalších několika důležitých živin, včetně lipidů, mononenasyčených a polynenasycených mastných kyselin, cholesterolu, kyseliny listové, vitamínů rozpustných ve vodě i v tucích a v neposlední řadě také minerálních látek. Obsahuje také antioxidantní látky, jako jsou karotenoidy, lutein a zeaxanthin (Kerver a kol., 2002).

### 3.4.1 Chemické složení žloutku

Z chemického hlediska je žloutková hmota nejsložitější částí celého vejce. Žloutek je bohatý na lipidy, proteiny, sacharidy a také na minerální látky, vitamíny a barviva. U čerstvě sneseného vaječného žloutku se obsah vody pohybuje mezi 50 – 54 % (*Hejlová, 2001*).

Chemické složení a fyzikální vlastnosti žloutku slepičích vajec jsou ovlivňovány několika faktory, z nichž nejdůležitějším je typ podávaného krmiva. Složení krmné dávky ovlivňuje zejména obsah mastných kyselin (*González-Esquerria a Leeson, 2000*).

#### 3.4.1.1 Bílkoviny

Nejdůležitějšími proteiny vaječného žloutku jsou lipoproteiny, které jsou složeny ze dvou frakcí, plazmatické, která je rozpustná, a granulované, která se sráží. Lipoproteiny o nízké hustotě (LDL) jsou složeny z 80 – 90 % lipidů, které se vyznačují emulgačními schopnostmi. LDL jsou hlavní bílkovinou vaječného žloutku a celkově představuje 70 % žloutkových bílkovin. Lipoproteiny o vysoké hustotě (HDL) tvoří asi jednu šestinu vaječného žloutku. Na rozdíl od LDL se tento lipoprotein skládá z 80 % bílkovin a 20 % lipidů (*Sugino a kol., 1997*).

Žloutek dále obsahuje lipovitellenin, lipovitellin, fosvitin, livetin a v neposlední řadě také imunoglobuliny (IgY). Imunoglobulin je hlavní protilátkou ve slepičích vejcích. Existují tři třídy imunoglobulinů a to IgA, IgM, které se nacházejí v bílku a IgG, který je přítomný ve žloutku. Množství IgY je téměř konstantní a pohybuje se okolo 10 – 20 mg na 1 ml vaječného obsahu (*Hatta a kol., 1993*).

#### 3.4.1.2 Lipidy

Žloutky jsou dobře známým zdrojem lipidů a často jsou používány na izolaci fosfatidylcholinu (lecitin). Lipidy tvoří přibližně asi 1/3 sušiny žloutku. Triacylglyceroly a fosfatidylcholin jsou hlavními složkami žloutku. Žloutkové lipidy můžeme pomocí centrifugace rozdělit do 4 základních frakcí. První frakcí jsou lipidy o velmi nízké hustotě (VLDL), které pokrývají 70 % všech lipidů. Další frakcí jsou pak frakce rozpustné ve vodě (8 %), frakce složené z granulí o velmi nízké hustotě (4 %) a poslední částí je fosfovitin – lipovitelinová frakce, která tvoří 18 % všech lipidů (*Gunstone a kol., 2007*).

Lecitin příznivě ovlivňuje náš zdravotní stav a je velmi významným emulgátorem. Působí pozitivně na hladinu cholesterolu, ovlivňuje rovnovážný stav mezi

HDL a LDL cholesterolem a příznivě ovlivňuje mikroflóru tlustého střeva (*Moros a kol., 2002*). Vysoký obsah nenasyčených mastných kyselin (NMK) je typický pro vaječný žloutek. NMK tvoří téměř 70 % obsahu, z něhož je ½ tvořena kyselinou olejovou a 6 – 10 % kyselinou linolovou. Nejvíce jsou zastoupeny kyseliny palmitová a stearová, které tvoří dohromady 30 % žloutkového obsahu. Důležitý je i obsah polynenasycených mastných kyselin (PUFA) a to zejména kyseliny řad n-6 a n-3, které mají antitrombotické a antizánětlivé účinky a u starších lidí přispívají k balancování hladiny hormonů měnících se v průběhu stárnutí. Konzumací vejce obohaceného o PUFA n-3 se dosáhne nárůstu HDL frakce a zároveň tak i k poklesu LDL frakce v krevním séru, což vede ke snížení krevního tlaku (*Simeonovová, 2003*).

S vaječnými tuky je spojován cholesterol, bez kterého nedokáže lidské tělo správně fungovat. Organismus si cholesterol dokáže sám syntetizovat a jen 30 % z celkového cholesterolu obsaženého v krvi pochází ze stravy (*Boháčková, 2014*).

Vejce je díky vysokému obsahu cholesterolu považováno za hlavní zdroj těchto sterolů. Jedná se zejména o neesterifikovaný cholesterol a jeho množství se pohybuje okolo 5 % z celkové hmotnosti lipidů, přibližně tedy 0,3 g cholesterolu na jedno slepičí vejce (*Gunstone a kol., 2007*).

#### **3.4.1.3 Sacharidy**

Obsah sacharidů je ve žloutku velice nízký, hodnota se pohybuje okolo 1 %. Většina sacharidů, zejména glukosamin, manóza a galaktóza, je vázána na bílkoviny. Ve volné formě se nachází pouze 0,13 – 0,20 % sacharidů, zejména glukóza. Ve žloutku čerstvých vajec se může nacházet i malé množství glykogenu (*Saláková, 2014*).

#### **3.4.1.4 Vitamíny a minerální látky**

Vaječný žloutek obsahuje jak vitamíny rozpustné v tucích (lipofilní), tak i vitamíny rozpustné ve vodě (hydrofilní), s výjimkou vitamínu C, u nichž dochází k migraci mezi žloutkem a bílkem přes žloutkovou membránu. Kyselina pantothenová, kyselina listová a nikotinamid přecházejí ze žloutku do bílku. Lipofilní vitamíny jsou nerovnoměrně rozloženy mezi plazmou a granulemi. V granulích je vyšší koncentrace vitamínů A a K. Vitamín E se nachází zejména v LDL frakci plazmy, ale také v HDL frakci granulí. Hladina vitamínů D<sub>2</sub> a D<sub>3</sub> je v plazmě i granulích srovnatelná (*Simeonovová, 2013*).

Z minerálních látek je ve vaječném žloutku nejvíce zastoupen fosfor, železo, mangan, selen, nikl, měď a jod. Žloutek obsahuje na rozdíl od bílku velice malé množství sodíku. Ve světlém žloutku je obsah minerálních látek téměř osmkrát vyšší než ve tmavé části žloutku. Žloutek obsahuje většinu barevných pigmentů, jejichž nejvyšší koncentrace se nachází ve tmavém žloutku. Jeho barva je dána obsahem karotenoidů. Hlavní podíl na barvě žloutku mají xantofyly (lutein, zeaxantin, kapsantin), které mají dvakrát vyšší barevnou mohutnost než karoteny (*Saláková, 2014*).

### **3.4.2 Chemické složení bílku**

Obsah vody v bílku značně kolísá a s jeho poklesem se zvyšuje obsah sušiny a to zejména minerálních látek a bílkovin. U sneseného vejce je uchován mírně rozdílný obsah vody v jednotlivých bílkových vrstvách a jeho hodnoty se pohybují mezi 85,5 % a 91,5 % (*Hejlová, 2001*).

#### **3.4.2.1 Bílkoviny**

Proteiny vaječného bílku mají důležité biologické funkce, mezi které patří zabraňování průniku mikroorganismů do žloutku a zajišťování přísunu živin do embrya. Většina bílkovin vaječného bílku je rozpustná ve vodě, a tak mohou být tyto bílkoviny snadno izolovány. Bílek obsahuje přibližně 40 různých proteinů.

Ovoalbumin je převažující protein přispívající k funkčním vlastnostem vaječného bílku. Vaječný albumin je klíčovým referenčním proteinem, který je důležitý zejména v biochemii a v potravinářském průmyslu jako nosič a stabilizátor.

Mezi vaječné bílkoviny patří také ovotransferin, což je protein, který váže železo. Představuje zhruba 12 % z celkových proteinů vaječného bílku. Ovotransferin lze použít jako nutriční přísadu do výrobků, obsahující železo, které je nezbytné pro správný růst organismů. Je součástí proteinových doplňků a je důležitý pro prevenci akutní dětské enteritidy. Neméně důležitým proteinem vaječného bílku je lysozym, který se vyznačuje lytickou antibakteriální funkcí. Lysozym představuje přibližně 3,5 % celkového obsahu bílku slepičích vajec. K bílkovinám se řadí také ovomucoid, ovomucin, avidin, ovoglobulin a ovoinhibitor (*Ibrahim, 1997*).

#### **3.4.2.2 Lipidy**

Čerstvý vaječný bílek obsahuje asi 0,02 % lipidů, z nichž 13 – 15 % připadá fosfolipidům (*Sato a kol., 1973*).

#### **3.4.2.3 Sacharidy**

Většina sacharidů bílku se nachází ve vázané formě v glykoproteinech, mezi které patří glukosamin, galaktosamin, galaktóza, manóza a kyselina sialová. Pouze glukóza se nachází v bílku ve volné formě (*Saláková, 2014*).

#### **3.4.2.4 Vitamíny a minerální látky**

V bílku jsou přítomny pouze vitamíny rozpustné ve vodě, kam patří vitamíny skupiny B, s výjimkou kyseliny askorbové. Jejich obsah se mění v závislosti na plemeni, krmení, ročním období a ve srovnání se žloutkem je nižší. Během stárnutí vejce dochází ke změnám v obsahu vitamínů a to zejména díky difúzi do žloutku a naopak. Množství minerálních látek se pohybuje v rozmezí 0,6 – 0,95 %. Bílek obsahuje s porovnáním se žloutkem víc sodíku, draslíku a síry a výrazně méně železa a fosforu. V bílku se nacházejí také organické kyseliny a to zejména mléčná, citrónová, jablečná (*Saláková, 2014*).

#### **3.4.3 Skořápka a podskořápkové blány**

Podskořápkové blány a skořápka se svým chemickým složením výrazně liší od ostatních částí vejce. V sušině převažuje zejména anorganická část. Na struktuře podskořápkových blán se podílí zejména keratin a derman sulfát. Podskořápkové blány obsahují přibližně 1,35 % lipidů. Jedná se hlavně o neutrální lipidy, cholesterol a volné mastné kyseliny, hlavně kyselina linolová.

Skořápka je komplexem, který je tvořený především uhličitánem vápenatým a organickou matrix, jejíž základem jsou proteiny (ovokleidin, osteopontin a ovoalbumin). Mimo tyto zmiňované proteiny byly ve skořápce, kutikule i podskořápkových blánách zjištěny i lyozym a ovotransferin. Skořápka, zejména kutikula, obsahuje asi 0,045 % lipidů, z nichž nejvíce převládají nasycené mastné kyseliny palmitová a stearová a z nenasycených kyselina olejová (*Simeonovová, 2013*).



**Tabulka 2:** Chemické složení vejce vztažené na jedno syrové vejce o hmotnosti 45 g, bez skořápky (Mann, 2007)

Živina	Na vejce	% DDP	Živina	Na vejce	% DDP
<b>Energie [kJ]</b>	267,0	3,0	<b>Vápník [mg]</b>	30,0	3,7
<b>Proteiny [g]</b>	5,8	11,5	<b>Železo [mg]</b>	0,7	
<b>Lipidy [g]</b>	4,5	6,5	<b>Selen [µg]</b>	14,0	20,0
<i>nasyčené [g]</i>	1,4	6,0	<b>B<sub>2</sub> [mg]</b>	0,2	10,0
<i>mono-nenasycené [g]</i>	1,9		<b>B<sub>3</sub> [mg]</b>	1,6	16,0
<i>poly-nenasycené [g]</i>	0,450		<b>B<sub>12</sub> [µg]</b>	0,5	25,0
<i>omega-3 [g]</i>	0,05	2,0	<b>Kys. listová [µg]</b>	22,0	11,0
<b>Cholesterol [mg]</b>	168,0		<b>Vitamin A [µg]</b>	72,0	10,0
<b>Uhlohydráty [g]</b>	0,15		<b>Lutein a zeaxanthin [µg]</b>	131,0	

### 3.5 Jakost slepičích vajec

Pojem kvalitní vejce znamená, že má vejce neporušenou, čistou a nepoškozenou skořápku. Skořápka nesmí být jakkoliv rozbitá, znečištěná vaječným obsahem, peřím nebo trusem. Žloutek by měl být žlutý a pevný. Bílek by neměl vykazovat řídkou konzistenci. Žloutek ani bílek nesmí obsahovat cizí tělíska, mezi které se řadí například masové nebo krevní skvrny. Kvalitní vejce musí mít pro uvedenou hmotnostní třídu předepsanou gramáž (Saláková, 2013).

Čeští výrobci jsou pod pravidelným a stálým veterinárním dohledem, a tak jsou možnosti alimentárního onemocnění způsobeného přítomností nežádoucích mikroorganismů (například salmonel) minimální. Při nákupu vajec je třeba zkontrolovat obal i skořápky. Díky dodržování všech základních hygienických pravidel jsou vejce bezpečným produktem (Boháčková, 2014).

Existuje spousta definic, které vysvětlují pojem kvalita, ale většina se shodují na tom, že se jedná o soubor znaků, které slouží k uspokojování potřeb spotřebitelů. Kvalita slepičích vajec se hodnotí podle morfologických, chemických, fyzikálně – chemických, organoleptických a mikrobiálních vlastností (Hejlová, 2001).

### 3.5.1 Morfologické vlastnosti vajec

Morfologické vlastnosti, které se mohou určovat u slepičích vajec, se rozdělují na vnější vlastnosti (hmotnost, velikost, tvar, barva, povrch, objem vejce) a vnitřní vlastnosti, kam se řadí složení a vlastnosti skořápky, žloutku a bílku.

#### 3.5.1.1 Tvar a index tvaru vajec

Tvar vajec je důležitý při balení, dopravě, manipulaci a skladování. Slepičí vejce má nejčastěji vejčitý tvar. Jedná se o elipsoidu s jedním koncem tupým a druhým ostrým. Některá vejce mohou mít i kulatý tvar nebo na druhou stranu tvar protáhlý (Nishiyama, 2010). Tvar vejce se nejčastěji vyjadřuje indexem tvaru, který je dán poměrem příčné osy k ose podélné a jeho hodnota je vyjádřena v procentech:

$$I_t = \frac{b}{a} \cdot 100 \quad [\%],$$

kde hodnota  $a$  udává délku podélné osy vejce a hodnota  $b$  délku příčné osy vejce (Simeonovová, 2013).

#### 3.5.1.2 Hmotnost slepičích vajec

Velikost vajec se vyjadřuje jejich hmotností, která je u slepičích vajec velmi proměnlivá a kolísá mezi 30 – 80 g. Za standardní se pokládá vejce o hmotnosti 58 – 62 g. Velikost vajec je ovlivněna plemennou příslušností nosnice, genetickými faktory, stářím nosnice, ročním obdobím, klimatickými podmínky, výživou, intenzitou snášky a individualitou nosnice (Saláková, 2014).

Vejce jsou řazena podle hmotnosti od nejmenších (méně než 53 g) po největší (více než 73 g). Pro označení velikosti jsou používána vzestupně písmena S, M, L, a XL (viz Tabulka 3). Hmotnost nemusí být vždy vyznačena přímo na skořápce, ale na spotřebitelském obalu musí být označena vždy (Nařízení komise (ES) č. 557/2007, 2007).

**Tabulka 3:** Hmotnostní rozdělení slepičích vajec (Nařízení komise (ES) č. 557/2007, 2007)

Značení	Hmotnostní skupina	Hmotnost vejce [g]
<b>S (small)</b>	malá	do 53
<b>M (medium)</b>	střední	53 – 63
<b>L (large)</b>	velká	63 – 73
<b>XL (extra large)</b>	velmi velká	nad 73

### **3.5.1.3 Barva skořápky slepičích vajec**

Některá slepičí vejce jsou bílá, jiná hnědá a můžou být i modrá či zelená. Barva skořápky je ovlivněna genetikou a plemenem slepice. Všechna vejce mají z počátku bílou barvu skořápky. Tvorba skořápky trvá přibližně 20 hodin (*Adkerson, 2011*).

Zbarvení hnědých skořápek je způsobeno pigmenty skupiny ovoporfyrinů. Jejich původ je dle některých autorů v hemoglobinu červených krvinek. Ovoporfyrin se nachází především ve vnější spongiózní vrstvě skořápky, jehož ukládání probíhá poslední 2 – 3 hodiny před snesením vejce. Někteří autoři uvádí, že barva skořápky má významný vliv na výskyt křapů a ostatních defektů skořápky. Pigmenty skořápky totiž stabilizují vazby molekul vápníku a tím skořáпку zpevňují.

Byl sledován také vliv složení krmné směsi na barvu vaječné skořápky. Bylo zjištěno, že vliv na barvu skořápky má i redukce krmiva během přepeřování mezi jednotlivými snáškovými cykly. U starších nosnic dochází při omezení přísunu krmiva ke snížení hmotnosti a následně skořápka těchto nosnic ztmavne (*Ledvinka a kol., 2007*).

### **3.5.2 Fyzikálně – chemické vlastnosti vajec**

Fyzikálně – chemické vlastnosti jsou důležité zejména z technologického hlediska a mezi nejdůležitější patří struktura bílku a žloutku, měrná hmotnost, bod mrznutí, koagulace, chemické reakce, pěnivost, rozpustnost a emulgační schopnost.

#### **3.5.2.1 Měrná hmotnost**

Měrná hmotnost, jinak řečeno relativní hustota, je charakterizována jako hmotnost vejce k objemu při konstantní teplotě (*Simeonovová, 2013*). Měrná hmotnost se pohybuje v rozmezí 1,06 – 1,12 g·cm<sup>-3</sup> a tato hodnota je ovlivněna tvarem vejce a tloušťkou skořápky. V průběhu skladování relativní hustota vejce klesá (*Saláková, 2014*).

#### **3.5.2.2 Bod tuhnutí**

Bod tuhnutí bílku leží mezi teplotami -0,442 až -0,465 °C, u žloutku se pohybuje mezi -0,585 °C až -0,617 °C. S klesajícím obsahem CO<sub>2</sub> se bod mrznutí zvyšuje, u bílku je tato změna radikálnější než u žloutku. Největší změny vznikají v prvních 12 hodinách po snůšce, kdy dochází k velkému úbytku CO<sub>2</sub>. K praskání čerstvých vajec dochází již při teplotě -2 °C (*Steinhauserová, 2003*).

### **3.5.2.3 Hodnoty pH**

Hodnoty pH jsou pro žloutek i bílek rozdílné. U čerstvě sneseného vejce je pH bílku cca 7,6 a pH žloutku 6,0. Během stárnutí se uvolňuje CO<sub>2</sub> rozpuštěný v bílku a hodnota pH roste až 9,7. U žloutku se pH mění v průběhu skladování podstatně méně a dosahuje hodnot jen okolo 6,3 – 6,8. Nárůst souvisí se zvyšováním koncentrace amoniaku uvolňovaného z bílkovin v průběhu stárnutí (*Saláková, 2014*).

### **3.5.2.4 Viskozita**

Viskozita bílku a žloutku je závislá na řadě faktorů, a to zejména na stáří vejce, pH, teplotě, obsahu sušiny a vody. Viskozitu bílku také ovlivňuje obsah lysozymu, který tvoří komplexy s ostatními proteiny. Na viskozitu žloutku má vliv podíl bílku, kterým je žloutek v průběhu vytloukání kontaminován. Relativní viskozita žloutku je asi osmkrát vyšší než u bílku. Při 0 °C se viskozita bílku pohybuje okolo 2 500 mPa·s, u žloutku tato hodnota dosahuje až 20 000 mPa·s. Při zahřívání bílku i žloutku viskozita klesá až do teploty, při níž začíná denaturace, a viskozita se začíná zase zvyšovat. U žloutku se dosáhne prvního maxima při 73 °C a u bílku při 63 – 66 °C. Například, pokud teplota vzroste na 30 °C, viskozita bílku klesne na 489 mPa·s a u žloutku na 6 690 mPa·s (*Simeonovová, 2013*).

### **3.5.2.5 Povrchové napětí**

Povrchové napětí snižují bílkoviny a fosfolipidy vaječného žloutku. Při zředění vaječných žloutků vodou dochází k významným změnám emulgačních vlastností. Povrchové napětí vaječné melanže mírně klesá při pasteraci a následném zmrazování (*Saláková, 2014*).

### **3.5.2.6 Index lomu**

Index lomu neboli refraktometrický index se odvíjí od koncentrace rozpustných látek v bílku a žloutku a lze ho využít při měření obsahu sušiny. U čerstvých vajec se průměrné hodnoty indexu lomu pohybují při 25 °C okolo 1,14185 u žloutku a u bílku kolem 1,3562.

### **3.5.2.7 Iontové vlastnosti**

Iontová síla závisí na koncentraci různých iontů v roztoku a má významnou roli při posuzování stability proteinů u žloutku a také u bílku. Iontová síla se zjistí pomocí vztahu:

$$I = 0,5 \cdot \sum c_i \cdot z_i^2$$

kde  $c_i$  jsou koncentrace jednotlivých iontů a  $z_i$  je jejich mocenství (Simeonovová, 2013).

### 3.5.3 Organoleptické vlastnosti slepičích vajec

U čerstvých a i u vařených vajec se sensoricky hodnotí zejména vzhled, barva, vůně, chuť bílku a žloutku. U čerstvě sneseného vejce musí být bílek po vyklepnutí čirý s nažloutlou až nazelenalou barvou typické vůně bez cizích zápachů. Maximálně je povoleno mírné zakalení bílku (Rolenec, 2011). Z hlediska smyslového vnímání je pro spotřebitele barva žloutku důležitá, ale z výživového hlediska nemá žádný význam, neboť karotenoidy podílející se na barvě žloutku, patřící mezi xantofyly, nemají antivitaminový účinek (Nedomová, 2007).

Producenti vajec se zaměřují na používání vhodných krmiv, aby tak získali požadovaný barevný odstín vaječných žloutků. Intenzivní žluto – oranžová barva žloutku slepičího vejce je žádaná jak při výrobě majonéz, tak i při výrobě korpusů a vaječných těstovin. Mezi jednotlivými konzumenty jsou však i geografické rozdíly. V Německu, Belgii a Nizozemí jsou oblíbenější více oranžové žloutky, které odpovídají intenzitě zbarvení RCF 13 – 14. Středně zbarvené žloutky upřednostňují konzumenti v severní Francii a Finsku (11 – 12 RCF). A v Irsku a Švédsku jsou oblíbeny téměř bledé žloutky, odpovídající hodnotám 8 – 9 RCF (Večeřová, 2010).

### 3.5.4 Mikrobiologické vlastnosti slepičích vajec

Mikrobiologické vlastnosti vejce jsou velmi důležité a to zejména z hlediska ochrany spotřebitelů. Mezi nejvýznamnější faktory způsobující kažení vajec se řadí znečištění vajec, poškození skořápky, stáří vejce, orosení, špatná technologie v průběhu zpracování nebo jejich nevhodné skladování. Vejce, které pochází od zdravých nosnic, neobsahuje mikroorganismy. U nemocných nosnic může v některých případech dojít k proniknutí mikroorganismů již ve vaječnku nebo při přechodu vejcovodem a kloakou.

U suché skořápky převažují grampozitivní mikroorganismy a u vlhké skořápky naopak dominují gramnegativní mikroorganismy rodu *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, které mají za následek hnilobný rozklad vaječného obsahu (Cemírková a kol., 1997).

## 3.6 Třídění a označování slepičích vajec

Prostor, ve kterém dochází ke třídění a balení vajec, se nazývá třídírna. Povinností každé třídírny je mít ve vybavení zařízení na prosvěcování vajec, zařízení na hmotnostní třídění, dále pak zařízení na označování a balení vajec. Je třeba rozlišit, zda se jedná o kontinuální proces, kdy jsou vejce tříděna přímo na farmě, anebo o diskontinuální proces, kdy jsou vejce před tříděním shromažďována a skladována přímo na farmě nebo jsou převážena z farmy do smluvní třídírny (*Saláková, 2014*).

### 3.6.1 Jakostní třídění

Účelem třídění je především vyřadit z trhu vejce, která by mohla být zdrojem zvýšených zdravotních rizik. Předpokladem vysoké kvality vajec je technologické a technické zajištění chovu. Aby snášela nosnice kvalitní a zdravotně nezávadné vejce, musí mít vhodné podmínky ustájení, s tím souvisejí čisté a kvalitní stelivo, dále velmi důkladné a pečlivé větrání. Čerstvá vejce jsou pro konzum nejvhodnějším a nejkvalitnějším typem, ale protože není možné zásobit trh skutečně čerstvými vejci, je nutné je po určitou dobu skladovat (*Kříž, 1997*).

Podle nařízení komise (ES) č. 557/2007 a dle Sb. Zákonů č. 326/2001 se vejce uchovávají v chladu při neměnicí se teplotě v rozmezí +5 °C až +18 °C. Skořápková vejce se dělí do dvou tříd jakosti, přičemž I. třídu jakosti tvoří čerstvá vejce A a EXTRA A a do II. jakostní třídy patří vejce podskupiny B, vejce chladírenská a konzervovaná (viz Tabulka 4).

Vejce jakostní skupiny A se mohou na trh uvádět jako čerstvá a to po dobu 28 dnů od data snášky, pokud byla skladována při nekolísavé teplotě +5 °C až +18 °C a relativní vlhkosti 70 až 75 %. Čerstvá vejce se jako vejce EXTRA A mohou značit po dobu 7 dnů od data snášky, pak je nutné je přeradit do jakostní podskupiny A. Skořápkové vejce I. jakostní třídy se hmotnostně třídí a jsou určena zejména pro prodej v tržní síti

Jako čerstvá vejce se nesmějí označovat vejce jakostní skupiny B, které se nemusí hmotnostně třídít a používají se zejména na další průmyslové zpracování (*Miková, 2002*).

**Tabulka 4:** Požadavky pro jednotlivé třídy jakosti (Komprda, 1999)

Ukazatel	I. třída jakosti		II. třída jakosti
	čerstvá vejce EXTRA A	čerstvá vejce A	vejce B
skořápka a blána	čistá, nepoškozená, normálního tvaru		normálního tvaru, nepoškozená, slabé znečištění a deformace jsou přípustné
vzduchová bublina	méně než 4 mm vysoká	méně než 6 mm vysoká	nejvýše 9 mm vysoká
	v době jakostní kontroly při balení nepohyblivá		pohyblivá nejvýše do poloviny délky vejce
žloutek	nezřetelně viditelný, kulatý ve středové poloze, při otáčení mírně pohyblivý a vracející se do středové polohy		viditelný, slabě zploštělý
bílek	průhledný		průhledný
zárodek	vývoj zárodka nepostřehnutelný		vývoj zárodka nepostřehnutelný
cizí tělíska	nepřípustná		nepřípustná
vaječný obsah	bez cizího pachu		bez cizího pachu

### 3.6.2 Hmotnostní třídění slepičích vajec

Vejce se třídí do 4 hmotnostních skupin označovaných písmenným kódem S, M, L, a XL (viz Tabulka 3). Kontrolované šarže (180 ks) mohou obsahovat maximálně 10 % vajec hmotnostní skupiny, jež předchází hmotnostní skupinu vyznačenou na obalu nebo po ní následuje. Na druhou stranu šarže může obsahovat nanejvýš 5 % vajec z bezprostředně nižší hmotnostní skupiny (Saláková, 2014).

### 3.6.3 Balení slepičích vajec

Vejce je velmi křehký produkt a dokonce i s nejlepšími metodami manipulace může dojít k jeho poškození, a tak jsou vejce chráněna příslušným balením a jasně stanovenou

manipulací. Nejenom že obal chrání vejce před mikroorganismy, ale také před přírodními škůdci, dále pak zabraňuje ztrátě vlhkosti a prostupu nežádoucí teploty způsobující zhoršení kvality vejce. Existuje mnoho různých druhů obalů, které se liší nejenom konstrukcí ale také skladbou obalového materiálu. Pro všechny typy obalů však platí, že musí být čisté a suché. Proložky a malospotřebitelské obaly (krabičky) z lisovaného papíru jsou určeny pouze pro jedno použití, oproti tomu plastové a kovové obaly se musí před dalším použitím čistit a desinfikovat. Balení dokončuje proces třídění a tento proces musí probíhat tak rychle, aby nedocházelo k významnému zvýšení vnitřní teploty vajec (*Hejlová, 2001*).

### **3.6.4 Označování slepičích vajec**

Při nakupování vajec je dobré se orientovat v jejich označení a kódech. Každé vejce, které je zakoupené v obchodě (tedy třídy A), musí mít kód řídicí se vyhláškou č. 264/2003 Sb. Tato vyhláška je harmonizovaná s předpisy Evropské unie, v jiných státech je označování vajec založeno na stejném principu. Každá vaječná skořápka má svůj vlastní kód, který může vypadat takhle: 1 CZ 6666 M. Číslo 1 značí druh chovu slepic (nosnic), zkratka CZ značí kód státu (země původu vejce), následující čtyřčíslí je registrační číslo hospodářství a zkratka M vysvětluje, o jakou hmotnostní třídu vejce se jedná (není vždy vyznačeno).

Třídění a označování vajec do třídy A nebo B se uskutečňuje u chovatele nebo v první balírně a třídírně. Vejce B se smí dávat pouze do průmyslu, jejich uvádění do oběhu pro spotřebitele je zakázáno. Tato vejce by měla být označena kruhem o průměru minimálně 12 mm, v němž je čitelně vyznačeno písmeno „B“. Spotřebitel by neměl takto označená vejce kupovat (*Daňhel, 2009*).

Ke spotřebitelům se mohou dostat i vejce neoznačená a to zejména, pokud jsou vejce koupená přímo na trhu nebo rovnou z hospodářství. V tomto případě je nutné se přesvědčit o jejich čerstvosti, zkontrolovat způsob skladování, vzhled a s tím spojenou čistotu skořápky. Za zdravotní nezávadnost ručí sami farmáři (*Boháčková, 2014*).

#### **3.6.4.1 Značení na obalu**

Na obalech obsahujících vejce jakostní třídy A musí být na vnější straně zřetelně a čitelně uvedeny tyto údaje.

- a) Jméno a adresa podniku, který vejce balil nebo nechal zabalit.



- b) Rozlišovací číslo balírny nebo třídírny (např. CZ 123).
- c) Třída jakosti, obaly mohou být označeny slovy „třída A“ nebo písmenem „A“, a to buď samostatně, nebo v kombinaci se slovem čerstvá.
- d) Hmotnostní skupinou podle nařízení.
- e) Datem minimální trvanlivosti.
- f) Údaj o zvláštních podmínkách skladování podle směrnice 2000/13/ES, který doporučuje spotřebitelům uchovávat vejce po zakoupení v chladu.
- g) Na vnější straně musí být také zřetelně a čitelně uvedeny údaje o způsobu chovu.

Na obalech obsahující vejce jakostní třídy B musí být na vnější straně zřetelně a čitelně uvedeny tyto údaje, číslo balírny nebo třídírny, třída jakosti a datum balení (*Ministerstvo zemědělství, 2004*).

### 3.7 Skladování tříděných slepičích vajec

Správné skladování slepičích vajec je nesmírně důležité pro udržení zdravotní nezávadnosti a kvality vajec. Hlavními degradačními faktory pro slepičí vejce jsou doba skladování, teplota, vlhkost, pohyb okolního vzduchu a manipulace s nimi. K rychlejšímu zhoršení kvality vajec dochází zejména při vysokých teplotách než při chladírenských teplotách v průběhu skladování.

Mezi čerstvými a skladovanými vejci je hlavní rozdíl zejména v kvalitě a pH bílku. Během skladování se hodnota pH u bílku zvyšuje, a tím dochází ke zhoršení jeho kvality. U čerstvých vajec značených „AA“ je bílek pevný, silný, vzduchová bublina je malá a u bílku ani u žloutku nejsou nalezeny žádné krevní nebo masové skvrny. Hodnota pH se u bílku čerstvého vejce pohybuje v rozmezí 7,0 až 9,0. Při dlouhodobém skladování není možné bez úpravy podmínek skladování udržet pH bílku v rozsahu 8,3 až 8,5.

Další významnou změnou, která může být v průběhu skladování sledována, je zploštění žloutku způsobené oslabením žloutkové membrány. K této změně dochází v důsledku rozdílných osmotických tlaků žloutku a bílku, kdy voda začne přecházet z bílku do žloutku a to může způsobit oslabení žloutkové membrány (*Akter, 2014*).

U slepičích konzumních vajec je minimální trvanlivost 28 dní a to ode dne třídění, za předpokladu, že byla dodržena doporučená skladovací teplota 5 – 8 °C. Vejce I. a II. třídy jakosti se uchovávají při nekolidávající teplotě okolního prostředí v rozmezí 5 – 18 °C (*Steinhausová, 2003*).

### 3.7.1 Chladírenské skladování slepičích vajec

Vejde II. třídy jakosti B chladírenská se uchovávají při teplotě nižší než 5 °C, ale zároveň tato teplota nesmí klesnout pod -1,5 °C. Relativní vlhkost vzduchu se pak pohybuje mezi 70 – 75 %. Nízké teploty brzdí proces stárnutí vajec a brání rozvoji mikroorganismů. Vejce určená k chladírenskému skladování musí být čerstvá (nejlépe do 2 dnů po snášce), čistá a nesmí mít poškozenou skořápku. Počáteční jakost rozhoduje o délce skladování. Vejce uložená do chladírny ihned po snesení se mohou skladovat až 9 měsíců a u vajec, které byly uloženy 7. den po snesení pouze 7 měsíců. Důležité je proudění vzduchu, které by mělo proudit do všech prostor. Vzduch by měl být vyměňován dvakrát za 24 hodin (Kříž, 1997).

U chladírenských vajec je třeba počítat s pomnožením psychrotrofních mikroorganismů a to zejména na povrchu, a pak i následným pronikáním do obsahu vejce. Jedná se zejména o mikroorganismy rodu *Alcaligenes*, *Pseudomonas* a *Flavobacterium* (Steinhauslerová, 2003).

### 3.7.2 Konzervace slepičích vajec

Konzervace patří mezi další možnost skladování slepičích vajec. Nejznámějším typem konzervace je olejování, kdy dochází k zakrytí pórů olejovým filmem. Tímto způsobem se zabráňuje vypařování vody a úniku CO<sub>2</sub>, a tak si vejce udržuje dlouho známku čerstvosti. Negativní stránkou olejování je zakalení bílku po reakci s CO<sub>2</sub>, které ale po nějakém čase zmizí.

Vejde čerstvá, nejlépe s nenarušenou a nemytou skořápkou se při olejování namáčí do vodní lázně nebo se ošetřují postřikem. Takto konzervovaná vejce se skladují při běžných chladírenských teplotách. K dalším důležitým typům konzervace patří povlékání vajec, termostabilizace a skladování vajec v upravené atmosféře (Simeonovová a kol., 2003).

## 3.8 Přeprava slepičích vajec

Přeprava netříděných vajec má stejné pravidla jako přeprava tříděných slepičích vajec. Palety s naloženými vejci se přepravují pomocí nákladních automobilů a musí splňovat několik podmínek.

- a) Musí být zkonstruovány z netoxického, snadno čistitelného materiálu.

- b) Teplota uvnitř přepravního prostoru by měla být stálá a neměla by výrazně kolísat.
- c) Teplota by měla být stále pod kontrolou.
- d) Pro přepravu chladírenských vajec se musí používat chladírenská vozidla.
- e) Vejce by neměla být při přepravě poškozena.

Pokud dojde k poškození vajec, dané vejce by měly být vyřazeny u odběratele, a tak se zabrání kontaminaci ostatních, čistých a nerozbitých vajec. Výrobce, který si na přepravu najímá smluvního přepravce, by měl mít možnost ověřit si, že dopravní prostředek a dopravní podmínky jsou pro přepravu vajec vhodné.

- f) Přepravce si musí vést dokumentaci o způsobu provádění a kontroly sanitace vozidla.

Odběratel má také možnost namátkové kontroly kvality vajec, a to například prosvícením či změřením Haughových jednotek (HU), a jestliže kvalita neodpovídá smlouvě nebo dokonce dané legislativě, má možnost vejce vrátit (*Ministerstvo zemědělství, 2004*).

### **3.9 Zpracování slepičích vajec**

#### **3.9.1 Skladování a transport**

Před výtlučkem se vejce skladují v prostorách určených pouze k tomuto účelu. Ve vybraných skladech musí být zajištěno větrání, stálá nekolísavá teplota v rozmezí 5 – 18 °C a neměnicí se relativní vlhkosti v rozmezí 70 – 75 %. Pro vejce, která jsou určena k oddělování žloutku a bílku, je ideální teplota 15 °C. Jsou-li vejce přesunována z farmy ke zpracovateli, musí být přeprava realizována co nejdříve. Transport musí probíhat šetrně, aby nedošlo k poškození vajec, popřípadě k jejich kontaminaci (*Saláková, 2014*).

#### **3.9.2 Výtlupek a pasterace vaječné hmoty**

U zpracování vajec je primární procesem tzv. vyloukání, při kterém se odstraňují skořápky a podskořápkové blány za účelem získání bílku, žloutku nebo melanže. Takto se zpracovávají zejména vejce vyřazená v procesu třídění. Legislativa České republiky nařizuje 72 hodin před výtlučkem vejce prosvítit. V procesu vyloukání je třeba veškeré technické zařízení před dalším použitím řádně vyčistit a vydesinfikovat a také je nutné okamžitě odstranit z prostor výtlučku skořápky a vejce nebo vaječné obsahy nevyhovující lidské spotřebě (*Ministerstvo zemědělství, 2004*).

Vytloukání se dělí na ruční a strojové. Ruční vytloukání se provádí zejména v malochovech a je zapotřebí speciálních nožů umístěných nad vytloukací nádobou, do které stéká bílek a žloutek zůstává v misce speciálního nože (Simeonovová a kol., 2003).

U strojového vytloukání je samotný průběh rozbití vejce a potřebná zařízení téměř stejné jako u ručního výtluhu. Rozdíl tvoří pohyblivý systém misek, které putují po pásovém dopravníku a misky s vaječným obsahem se překlápějí do sběrných nádob. U strojového vytloukání je přítomen také fotosenzor, který skenuje barvu obsahu a pokud objeví vadný obsah, systém misku vyřadí (Nedomová, 2015).

Všechny vaječné hmoty musí být po vytlučení tepelně ošetřeny. Jestliže pasterace nenavazuje bezprostředně na výtluh, musí být vaječné hmoty zchlazeny na teplotu nižší +4 °C a zpracovány do 48 hodin. Volby teploty a doby závisí na konstrukčních parametrech pastéru a výrazně se liší u stacionární a kontinuální pasterace (viz Tabulka 5). Pasterované vaječné hmoty se na trh uvádí ve formě kapalné chlazené, sušené, mražené nebo ochucené. Ze senzorickeho hlediska musí být homogenní, musí mít typickou vaječnou barvu a vůni (Pospíšilová, 2007).

Pasterovaný vaječný obsah se plní do plastových sáčků, které byly před plněním vloženy do plechovek nebo kartonů. Sáčky se uzavírají gumičkou nebo zatavením, plechovky pak uzávěrem. Skladovatelnost závisí na teplotě pasterace, čistotě obalů a teplotě, ale pohybuje se od 2 do 14 dnů. Pasterovaná vaječná hmota se skladuje v čistých skladech, kde je zajištěno větrání a teplota se pohybuje do 4 °C (Simeonovová a kol., 2003).

**Tabulka 5:** Doporučené pasterační režimy (Saláková, 2014)

<i>Kontinuální (průtoková) pasterace</i>		
<b>složka</b>	<b>teplota [°C]</b>	<b>doba [s]</b>
<b>bílek</b>	58	180
<b>žloutek</b>	65	180
<b>melanž</b>	64,5	150
<i>Stacionární (vsádková) pasterace</i>		
<b>složka</b>	<b>teplota [°C]</b>	<b>doba [s]</b>
<b>bílek</b>	56	30
<b>žloutek</b>	68	30
<b>melanž</b>	65	30

### 3.9.3 Vaječné výrobky

Vaječná hmota se vyrábí v následujících tržních druzích jako pasterovaná vaječná hmota tekutá, pasterovaná vaječná hmota mražená a pasterovaná vaječná hmota sušená (Hejlová, 2001).

#### 3.9.3.1 Tekuté vaječné výrobky chlazené

Tyto výrobky se musí skladovat při teplotách maximálně do 4 °C a teploty musí být neustále kontrolovány registračním teploměrem. Tento bod je součástí plánu HACCP. U jednotlivých výrobců se údržnost liší a to zejména podle způsobu pasterace, způsobu balení a podle dodržování hygienických požadavků. Kvalitní výrobce má možnost prodloužit dobu použitelnosti až na rozpětí 10 – 21 dní. U aseptického balení se údržnost prodlužuje až na 3 měsíce. Za pomoci stabilizace organickými kyselinami a jejich solemi se může doba spotřeby ještě prodloužit (ČSN 56 9603, 2006).

Současná legislativa nestanovuje pro vaječné hmoty žádná přímá jakostní kritéria, ale dodavatelé a odběratelé obvykle vycházejí z ČSN 57 2301, která definuje požadavky na obsah sušiny a tuků (viz Tabulka 6).

**Tabulka 6:** Kvalitativní požadavky na vaječné výrobky (ČSN 57 2301, 1992)

<i>Hmota</i>	<i>Obsah</i>	
	<i>sušiny [min. %]</i>	<i>tuku [min. %]</i>
<b>bílek</b>	10,5	-
<b>žloutek</b>	43,0	26,0
<b>melanž</b>	23,5	9,8

#### 3.9.3.2 Vaječné hmoty mražené

Zmrazování vaječných hmot pracuje na principu odnímání volné vody nezbytné pro životní funkce mikroorganismů. Díky tomuto procesu se prodlužuje údržnost vaječných hmot. Je nutné, aby se vytvořila formace jemných a drobných krystalků ledu, a proto se zmrazování musí provádět velmi rychle. Je nutné zabránit tvorbě krystalizačních center, kolem kterých narůstají velké krystaly. Tyto krystaly by potrhaly strukturu tkání a tím by negativně poškodily koloidní vlastnosti vaječné hmoty. Tento jev nastává nejčastěji při pomalém zmrazování, anebo pokud kolísá teplota v průběhu skladování (Simeonovová, 2013).

U zmrazených produktů se zmrazování provádí na teplotu -12 °C, které musí být dosaženo v jádře daného výrobku. U výrobků hluboce zmrazených musí teplota v jádře klesnout až na -18 °C. Nejvhodnější teplota při rozmrazování vaječného obsahu je 10 °C a vzniklá hmota se musí rychle zpracovat. Doba skladování se pohybuje okolo 1 roku (Lawson, 2008).

Mražená vaječná hmota našla široké využití v cukrářské a pekařské výrobě. Pokud se jedná o cukrářskou výrobu, nejvíce se používají vaječné melanže, bílky a slazené žloutky. Mražené žloutky bez cukru nebo soli jsou nesmírně důležité při výrobě těstovin a dětské výživy. Zmražená vaječná hmota se skladuje v mrazírenských komorách při teplotě -12 °C až -18 °C. Čím je teplota nižší, tím se může doba skladování prodloužovat. Přednosti výroby mražených vaječných obsahů spočívají především v prodloužení trvanlivosti, možnosti využití jako polotovarů a v případě nadprodukce možnosti jejich konzervace (Hejlová, 2001).

### **3.9.3.3 Vaječné výrobky sušené**

Sušené vaječné výrobky představují v současnosti nejvýznamnější výrobek z vajec. Hlavními přednostmi je malý objem, nízké náklady na skladování a přepravu, snadná manipulovatelnost, obnovitelnost a pohotovost. Sušením se konzervuje žloutek, bílek, melanž a jejich různě upravené modifikace vedoucí ke zlepšení funkčních vlastností (Simeonovová, 2013).

Sušení se provádí v komorových nebo většinou ve sprejových sušárnách. Vaječné hmoty se musí sušit co nejdříve po výtlučku a pasteraci. Bílek a někdy i melanž se před sušením odcukřují, aby během sušení nedocházelo k chuťovým a barevným změnám, způsobenými Maillardovou reakcí, tedy neenzymovým hnědnutím. Pokud se bílek odcukřuje, nemusí se před sušením pasterovat a pasteruje se až v hotovém, suchém stavu při teplotách 50 – 90 °C pár hodin až několik dní, nejčastěji 7 dní při teplotě 54 °C (Nys a kol., 2011).

Teploty sušení se volí podle druhu vaječné hmoty a konstrukčních parametrů sušárny. Vstupující sušící vzduch má teplotu mezi 110 – 215 °C a na výstupu se teplota vzduchu a sušené hmoty pohybuje okolo 50 – 70 °C. Sušící vzduch musí být filtrován, aby nedocházelo ke kontaminaci hmot prachem, nečistotami a cizími tělisky. Hmoty pak musí rychle opustit sušárny a být ochlazeny, aby se nezhoršily smyslové a funkční vlastnosti

(viz Tabulka 7). Dobu minimální trvanlivosti určuje výrobce a bývá obvykle 9 – 12 měsíců. Optimální skladovací teplota se pohybuje do 15 °C, ale sušené výrobky lze skladovat i při běžné teplotě místnosti (ČSN 56 9603, 2006).

Sušené výrobky se používají buď přímo v suché formě nebo se rehydratují a následně se obnovují podle hmotnostních poměrů, například k 1 dílku bílku se musí přidat 7 dílků vody (Saláková, 2014).

**Tabulka 7:** Kvalitativní požadavky na vaječné výrobky sušené (ČSN 57 2301, 1992)

<i>Složka</i>	<i>Obsah vody</i>	<i>Tuk v sušině</i>
<b>bílek</b>	7,0 – 8,0	-
<b>krystalický bílek</b>	10,0 – 14,0	-
<b>žloutek</b>	3,5 – 5,0	58,0
<b>melanž</b>	4,0 – 5,0	40,0

### 3.9.3.4 Vaječné výrobky ochucené (koncentrované)

Všechny tržní druhy pasterované vaječné hmoty tekuté i mražené lze vyrábět s přísadou cukru nebo i s přísadou soli. Název tohoto tržního druhu je pak doplněn o údaj „slazený“ nebo „solený“ a množstvím použité přísady v %. Tyto přidané suroviny zvyšují osmotický tlak a s tím i mikrobiální stabilitu. Díky přísadkům těchto surovin se mohou vaječné hmoty pasterovat při vyšších teplotách (Nedomová, 2015).

Ochucené hmoty se vyrábějí ve formě mražené, sušené i kapalné. Obsah soli nebo cukru se volí podle budoucího použití. U slazených bílků může být koncentrace cukru až 50 %, u melanže až 48 % a u žloutku dosahuje až 33,4 %. Omezujícím faktorem je rozpustnost. Koncentrace soli je nižší a to zejména kvůli chuťové přijatelnosti, a tak se hodnoty přidané soli pohybují okolo 6 – 11 % (Simeonovová, 2013). Doba použitelnosti je u kapalných ochucených hmot delší, než u hmot neochucených a to až několik měsíců (ČSN 56 9603, 2006).

Díky evropské legislativě se mezi koncentrované vaječné výrobky řadí též vaječné hmoty neochucené. U těchto výrobků byla odstraněna určitá část vody odpařováním, ultrafiltrací nebo reversní osmózou (Křivánková, 2004).

### 3.10 Reologie

Reologie je v širokém slova smyslu věda, která studuje tvarové změny látek při působení vnějších sil. Z jiného hlediska se ve smyslu reologie rozumí nauka o toku látek. Reologii lze aplikovat především ve vědách zabývajících se materiálovým inženýrstvím, ale také ve fyziologii, geofyzice, v biologii člověka nebo i ve farmacii. Tokové vlastnosti jsou používány jako důležitý nástroj kontroly kvality (*Morrison, 2001*).

Reologické chování tekutých materiálu hraje velmi významnou roli v řadě technologických operací. Znalost základních reologických veličin (viskozity, meze toku a modulů pružnosti) je potřebná k charakterizování surovin, popřípadě i produktů, ale také k řešení mnoha technických úloh a ke kontrole výrobních a dopravních zařízení (*Pirkl, 2011*).

#### 3.10.1 Reologie kapalin

Matematickým vyjádřením tokových vlastností kapalin jsou reologické stavové rovnice, které vyjadřují vztah mezi deformačním smykovým napětím  $\tau$  a deformací kapaliny. Jejich grafickou podobou jsou tokové křivky a v případě ideálně viskózního materiálu platí pro tečné napětí obecně platný Newtonův zákon:

$$\tau = \eta \frac{d_u}{d_x} = \eta D = \eta \dot{\gamma},$$

kde součinitel  $\eta$  je dynamická viskozita charakterizující vnitřní tření newtonovské kapaliny,  $d_u$  je vzájemná rychlost pohybu smykových rovin vzdálených o  $d_x$  a  $D$  je gradient rychlosti (rychlosti smyku, rychlost deformace  $\dot{\gamma}$ ), který charakterizuje tvarové změny v proudící tekutině (*Pirkl, 2011*).

Tekutiny, pro které platí lineární závislost mezi smykovým napětím a rychlostí deformace se nazývají newtonovské tekutiny, a proto je pro tyto látky materiálovou charakteristikou dynamická viskozita. Dynamická viskozita má rozměr  $\text{Pas} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  (*Severa a Nedomová, 2011*).

Znalost viskozity je velmi významná, protože umožňuje řešit celou řadu úloh. V soustavě SI má kinetická viskozita jednotku  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Umožňuje popsat charakter proudění tekutin a to pomocí Reynoldsova čísla ( $\text{Re}$ ), což je bezrozměrné číslo definováno vztahem:

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

kde symbol  $v$  znázorňuje rychlost proudění,  $R$  je charakteristický rozměr potrubí či obtékaného tělesa a  $\rho$  je hustota tekutiny.



Kinetická viskozita závisí na teplotě a tlaku, a pokud závisí například i na tečném napětí, popřípadě na smykové rychlosti, jedná se o ne-newtonovské kapaliny. V zemědělství a v potravinářství má pak značný význam znalost proudění tekutin v potrubích. Je důležité rozlišovat Newtonovské a Ne-newtonovské kapaliny (*Buchar, 1990*).

Na základě mnohých experimentů byly získány různé typy tokových křivek, kdy pro proudění potravin mají význam zejména Ostwald-de Waele model (mocninný zákon), Herschel-Bulkley, Casson, Mizrahi-Berk, Heinz-Casson, Carreau, Vocadlo atd.

Mocninný zákon je dán vztahem:

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

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

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

Pokud je  $n=1$  popisuje tento model chování newtonovské kapaliny (*Severa a Nedomová, 2011*).

Pro potraviny je relativně nejvýznamnější, druhý zmiňovaný, model Herschel-Bulkley. Tento model je dán vztahem:

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n + \sigma_0,$$

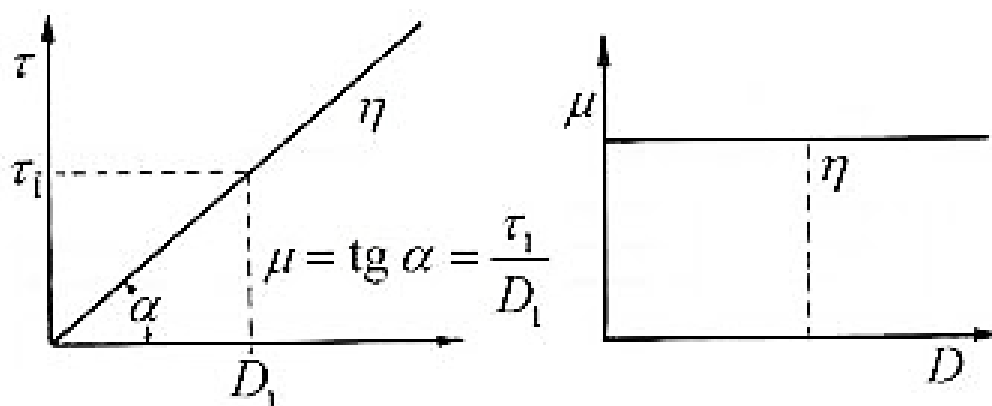
kde  $K$  je koeficient konzistence,  $\dot{\gamma}$  rychlosti deformace a  $\sigma_0$  mez kluzu (*Steffe, 1996*). K proudění kapalin dochází až po dosažení meze kluzu. Je-li napětí vyšší jak mez kluzu, tak při proudění kapaliny v potrubí existuje válec o poloměru  $r^*$ , který se pak pohybuje jako tuhé těleso. Pro získání poloměru tohoto tuhého tělesa platí vztah:

$$r^* = \frac{2L\tau_0}{\Delta P},$$

kde  $L$  je délka potrubí a  $\Delta P$  je tlakový spád na dané délce (*Mitsoulis, 2007*).

### **3.10.1.1 Newtonovské kapaliny**

Newtonovská látka je reologický model viskózní látky, která se řídí Newtonovým zákonem viskozity. Rovnice reologie newtonovské látky je charakterizována přímou úměrností rychlosti deformace a napětí. Reologickou rovnicí je Newtonův zákon viskozity a materiálovou konstantou charakterizující danou newtonovskou látku je viskozita. K popisu kapalin je vhodný model newtonovské látky a hovoří se pak o newtonovské kapalině či newtonovské tekutině. Jedná se zejména o nízkomolekulární látky a viskozita těchto tekutin nezávisí na vazkém napětí (*Kumbár, 2013*).



**Obrázek 3:** Toková a viskozitní křivka newtonovských kapalin (Janalík, 2010)

V praxi to znamená, že při dané teplotě zůstává viskozita dané newtonovské kapaliny konstantní, bez ohledu na to, který typ viskozimetru, velikost vřeteno nebo rychlosti se používá. Newtonovské tekutiny jsou nejjednoduššími tekutinami, na rozdíl od ne-newtonovských (Adebowale, 2011).

### 3.10.1.2 Ne-newtonovské kapaliny

Ne-newtonovské kapaliny jsou obecně definovány jako takové, pro které není vztah smykového napětí a rychlosti konstantní. Jedná se tedy o kapaliny reologicky složitější, které se na rozdíl od newtonovských kapalin neřídí Newtonovým zákonem. Jedná se o roztoky a taveniny polymerů, různé suspenze, pasty, emulze apod. Platí pro ně analogicky s Newtonovým zákonem rovnice:

$$\tau = \eta D,$$

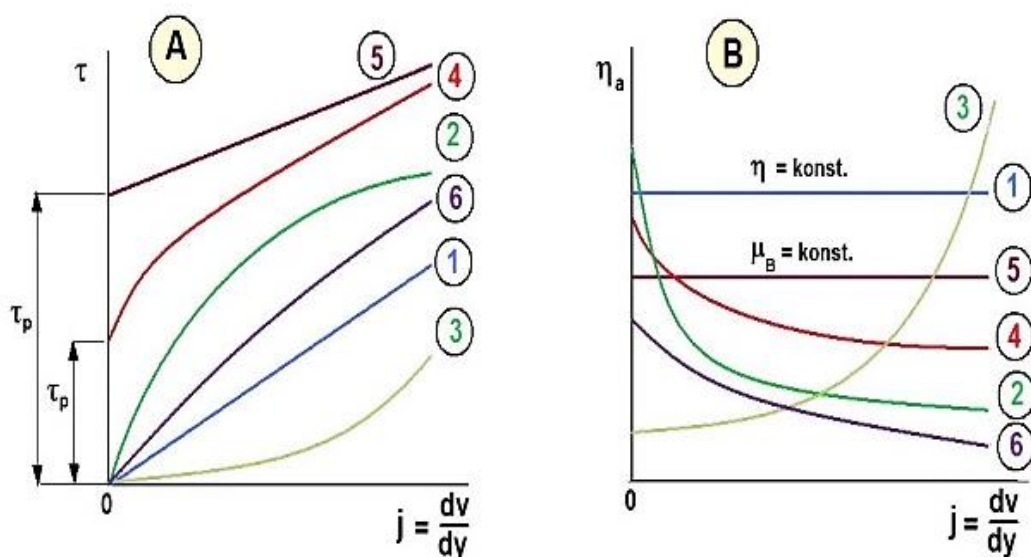
kde  $\eta$  je ale tzv. zdánlivá viskozita, která není látkovou konstantou, ale závisí na rychlosti deformace nebo tečném napětí (Kumbár, 2013).

V praxi to tedy znamená, že typ viskozimetru, vřetena a určité rychlosti mají vliv na naměřenou viskozitu ne-newtonovských tekutin. Tato naměřená viskozita se tedy nazývá "zdánlivá viskozita" tekutiny. Existuje několik typů ne-newtonovského chování toku, které se vyznačují tím, jak se mění viskozita tekutiny v reakci na změnu rychlosti smyku. Existuje několik typů ne-newtonovských kapalin vyskytujících se v potravinách (viz Obrázek 4).

- **Pseudoplastické kapaliny** – což jsou kapaliny, jejichž zdánlivá viskozita se s rostoucím gradientem rychlosti zmenšuje. Řadí se sem dvě podskupiny, právě pseudoplastické kapaliny a strukturně viskózní kapaliny, které se liší průběhem tokové

křivky. Z technického hlediska je pseudoplasticita často vítanou vlastností, protože snižuje energetickou náročnost při míchání a toku kapalin potrubím (Pirkl, 2011).

- **Dilatantní kapaliny** - jsou kapaliny, jejichž zdánlivá viskozita roste s rostoucím gradientem rychlosti. Toto chování je poměrně řídké a bylo pozorováno pouze v některých vysoce koncentrovaných suspenzích. Je žádoucí dilataci co možno nejvíce potlačit změnou složení, protože zhoršuje technologické procesy (Kumbár, 2013).
- **Binghamské kapaliny** – jedná se o kapaliny s plastickou složkou deformace, u kterých dochází k toku až po překročení prahového smykového napětí, tzv. meze toku (kluzu). Řadí se sem koncentrované průmyslové a odpadní kaly, kašovitě suspenze křídy a vápna (Nedoma, 1995).
- **Tixotropní kapaliny** – jedná se o kapaliny s časově závislou složkou deformace. Zdánlivá viskozita u nich klesá s prodlužující se dobou působení napětí. Tento typ je velmi výhodný pro nátěrové hmoty (Barnes a kol., 1989).
- **Reopektické kapaliny** – taktéž se jedná o kapaliny s časově závislou složkou deformace. Zdánlivá viskozita během smykového namáhání s časem roste. Oproti tixotropie se s tímto typem chování se můžeme setkat jen zředěnými (Severa, 2008).



**Obrázek 4:** Reogramy a zdánlivá viskozita vybraných ne-newtonovských kapalin – A. reogram, B. zdánlivá viskozita [1) newtonovská kapalina, 2) pseudoplastická kapalina, 3) dilatantní kapalina, 4) skutečná plastická kapalina, 5) Binghamova kapalina – ideálně plastická kapalina, 6) Eyringův model] (Janalík, 2010)

### 3.10.2 Reologické vlastnosti slepičích vajec

Reologické vlastnosti slepičích vajec jsou důležité nejenom pro řádnou tvorbu provozních přístrojů, ale jsou zásadní i při vývoji produktu a jeho kvality. Reologické údaje se používají v potravinářském inženýrství, kde jsou důležité pro správné použití různých potrubí, čerpadel, mixérů, extrudérů, homogenizátorů a dalších zařízení. Doba skladování způsobuje různé fyzikální, chemické a biologické změny, a proto se také očekává změna reologických vlastností (Singh, 2014).

V případě slepičích vajec je třeba řešit případy proudění vaječných tekutin s ohledem na jejich častou aplikaci v potravinářské praxi. Jako příklad je bílek, který je často používán v pekárenském průmyslu a to zejména díky snadné šlehatelnosti s dobrou trvanlivostí pěny. Vaječné žloutky se často využívají k přípravě majonéz, různých omáček, dresinků atd. (Alvarez a kol., 2006).

Řídký a hustý vaječný bílek se v reologickém chování výrazně liší. Řídká část vaječného bílku má velmi viskózní a omezeně pružný charakter. Z reologického hlediska se jedná o tixotropní kapalinu, s hodnotami kolem 10 mPas. Hustý vaječný bílek má charakter slabého a měkkého gelu. Viskozita tohoto bílku je 10 krát vyšší než u řídkého vaječného bílku, ale i tak patří také mezi tixotropní kapaliny (Cardinaelsa, 2013).

Žloutek v průběhu zpracování a výroby prochází různými operacemi, mezi které patří například čerpání, pasterace, zmrazování či sprejové sušení. U všech těchto operací jsou používány různé teploty. Reologické vlastnosti žloutku významně závisí na sušině a na jeho viskozitu má vliv podíl bílku, kterým je žloutek kontaminován při vytloukání. Viskozita slouží jako indikátor změn koloidního systému, zejména u záhřevu (Simeonovová, 2013). Chování vaječného žloutku je ovlivněno použitou teplotou, proto patří mezi pseudoplastické kapaliny. Díky této informaci můžeme přesně navrhnout odpovídající proces zpracování, jednotlivé teploty, délky těchto zahřívání, aby nedocházelo k nežádoucím změnám vlastností vaječného žloutku (Telis-Romero a kol., 2006).

### 3.11 Změna kvality žloutku v průběhu skladování

Kvalita žloutku je velmi důležitým faktorem, který určuje vnitřní kvalitu vejce. Ihned po snesení má žloutek poměrně vysoký a vypouklý tvar a je obklopen malou vrstvou vnitřního hustého bílku. Elastičnost a pevnost žloutkové membrány obklopující žloutek ovlivňuje jeho tvar. V průběhu stárnutí slepičího vejce dochází ke zvětšení žloutku vlivem absorpce vody z vaječného bílku a také k oslabení žloutkové membrány. Žloutek

starého vejce je tedy nižší a zaujímá větší plochu. Změny, které vznikají v průběhu skladování, můžeme souhrnně vyjádřit pomocí indexu žloutku, který se zjišťuje podílem výšky a šířky sledovaného žloutku. U čerstvě snesených vajec se index žloutku pohybuje v rozmezí 30 – 50 % (Nys a kol., 2011).

Změnami indexu žloutku u slepičích vajec se zabývali Akyurek (2009), kteří ve své práci prokázali, že průběh skladování má velký vliv na index žloutku. U nosnic slepic ve 22. týdnu skladování se u vajec skladovaných při teplotě 4 °C snížil index žloutku ze 47,43 % na 46,29 %. Měření probíhalo 3. a 10. den skladování. Snižování indexu se prokázalo také u nosnic v 50. týdnu snášky, kdy se při stejné skladovací teplotě index žloutku snížil ze 45,85 % na 44,55 %. Měření opět probíhalo ve 3. a 10.

K další změně v průběhu skladování dochází u pH žloutku, i když ne k tak výrazným jako u bílku. Dosahuje rozpětí 6,3 – 6,8 a nárůst hodnot souvisí se zvyšováním koncentrace amoniaku, který se uvolňuje z bílkovin v průběhu stárnutí (Kirunda a Mckee, 2000). U slepičích vajec se pH žloutku zvyšuje s dobou skladování a zároveň i se zvyšující se teplotou. Jak Jin a kol. (2011) uvádí, při teplotě 5 °C u čerstvých vajec došlo v průběhu 5 dnů ke zvýšení pH z 5,82 na 6,02.

## 4 MATERIÁL A METODIKA

V této kapitole je vytvořen přehled zařízení sloužící k měření a analyzátorů, které byly použity při měření reologických a tokových vlastností, teplotních závislostí dynamické a kinematické viskozity.

### 4.1 Materiál

Ke sledování jednotlivých parametrů žloutku a jeho změn v průběhu skladování byla použita vejce slepičí, která byla dovezena z velkochovu na jižní Moravě. Vejce pocházela od nosnic hybrida HISEX BROWN v 26. týdnu snášky. Všechny nosnice byly chovány v klecovém chovu a byly krmeny standartní kompletní krmnou směsí pro nosnice. Ke stanovení byla použita pouze vejce hmotnostní skupiny L, která byla skladována při nekolísavé teplotě 6 °C a relativní vlhkosti v rozmezí 70 – 75 %.

### 4.2 Metodika

Skořápková slepičí vejce byla analyzována v průběhu 8 týdnů. Pro sledování fyzikálních znaků a reologických vlastností vajec byly u vybraných vzorků zjišťovány následující parametry:

- hmotnost a úbytek hmotnosti vajec
- index tvaru
- barva žloutku
- výška a šířka žloutku
- hmotnost žloutku
- index žloutku
- hustota
- smykové napětí
- viskozita a její časová závislost

#### 4.2.1 Stanovení hmotnosti a úbytku hmotnosti vajec

Hmotnost vajec ( $m$ ) byla zjišťována na elektronických laboratorních vahách (KERN 572). Výsledek je uváděn v gramech s přesností na dvě desetinná místa. Vážení vajec probíhalo ihned po dovozu a následovalo důkladné označení jednotlivých vajec. V průběhu skladování dochází mimo jiné i k vysychání vajec, a proto se hmotnost měřila také

po uplynutí určité doby skladování ( $m_s$ ). Byl proveden odečet od hmotnosti vejce před skladováním a následně bylo vypočteno procento úbytku hmotnosti podle vztahu:

$$\text{úbytek hmotnosti} = \frac{(m - m_s)}{m} \cdot 100 [\%],$$

kde  $m$  je hmotnost vejce před skladováním a  $m_s$  je hmotnost vejce po skladování.

#### 4.2.2 Stanovení indexu tvaru

Index tvaru vejce se vyjadřuje z délky a šířky vejce, které jsou měřeny digitálním posuvným měřidlem (SOMET 14016458 KS). Hodnota indexu tvaru byla následně vyjádřena v procentech následujícím způsobem:

$$\text{index tvaru vejce} = \frac{b}{a} \cdot 100 [\%],$$

kde  $a$  vyjadřuje délku vejce v mm a  $b$  vyjadřuje šířku vejce v mm.

#### 4.2.3 Barva žloutku

K posouzení barvy syrového žloutku, která se stanoví ihned po rozklepnutí vejce na testovací desku, byla použita 15-bodová stupnice La Roche (viz Obrázek 5).



**Obrázek 5:** 15-bodová stupnice La Roche (Branwell, 2014)

#### 4.2.4 Výška a šířka žloutku

Výška žloutku se stanoví pomocí výškového měřidla po rozklepnutí vejce na testovací desku. Následně se daná hodnota odečte s přesností na dvě desetinná místa v mm.

Tak jako výška žloutku tak i šířka žloutku byla stanovena ihned po rozklepnutí vejce, na testovací desce. Opět se k tomuto úkonu použilo posuvné měřidlo a získaná hodnota se odečetla s přesností na dvě desetinná místa v mm.

#### **4.2.5 Hmotnost žloutku**

Po změření a získání všech potřebných parametrů byl žloutek velmi opatrně oddělen od bílku, následně osušen filtračním papírem a zvážen na laboratorních vahách v gramech s přesností na dvě desetinná místa (KERN 572).

#### **4.2.6 Index žloutku**

Pro stanovení indexu žloutku sledovaných slepičích vajec byl použit vzorec vyplývající z podílu výšky a šířky žloutku:

$$\text{index žloutku} = \frac{a}{b} \cdot 100 [\%],$$

kde  $a$  vyjadřuje výšku žloutku v mm a  $b$  vyjadřuje žloutkovou šířku v mm.

#### **4.2.7 Hustota vaječného žloutku**

Měrná hmotnost (hustota) byla zjišťována pomocí přenosného digitálního hustoměru Densito 30 PX od firmy Mettler Toledo (viz Obrázek 6). Tento hustoměr umožňuje během krátké doby zjistit hustotu vzorku. Přístroj pracuje na principu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty. Hadička, která slouží ke vzorkování, se ponoří do daného vzorku a měření se automaticky spustí po nasátí daného vzorku. Díky vysoké rychlosti měření se výsledek zobrazí na displeji již v několika sekundách. Hustoměr je vybaven pumpou, která má funkci regulované rychlosti nasávání a je vybaven speciálním otvorem pro možný vstřík vzorku externí stříkačkou. Použití tohoto otvoru je vhodné zejména pro velmi viskózní vzorky. Přístroj má automatickou teplotní kompenzaci a také 10 teplotních kompenzačních koeficientů.

Kalibrace se provádí na vzduchu nebo vodou. Paměť je dostatečně velká a dokáže uložit výsledky až 1100 měření a přenést je do osobního počítače pomocí infračerveného rozhraní.





**Obrázek 6:** Hustoměr Densito 30 PX (Merci, 2013)

#### **4.2.8 Tokové vlastnosti žloutku**

Pro zjišťování tokových vlastností žloutku sledovaných slepičích vajec musel být vytvořen vzorek a to následujícím způsobem. Po rozklepnutí vejce na podložku a zjištění všech parametrů vnitřní kvality žloutku, uvedených v kapitolách 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, byl žloutek zbaven veškerého podílu bílku a opatrně převeden do kádinky. Následně byl obsah kádinky pár minut míchán a následně přecezen přes jemné sítko. Vznikly tedy homogenizované vzorky o objemu 15 ml, které byly používány k měření reologických vlastností.

##### **4.2.8.1 Viskozita**

Měření reologických vlastností (viskozity) žloutků slepičích vajec bylo provedeno na rotačním viskozimetru Anton Paar DV-3P, který měří krouticí moment rotujícího vřetena ponořeného do vzorku (viz Obrázek 7). Daný viskozimetr pracuje na principu měření krouticí síly nutné k překonání odporu u rotujícího válce popřípadě disku, který je ponořený v měřeném materiálu. Rotující válec nebo vřeteno jsou propojeny pomocí pružiny s hřídelí motoru, který se točí stanovenou rychlostí. Úhel pootočení hřídele se měří elektronicky a poskytuje přesnou informaci o poloze hřídele, popřípadě vřetene.

Na základě interních výpočtů je z měřených hodnot přímo zobrazena hodnota dynamické viskozity v jednotkách [mPa·s]. U kapaliny konstantní viskozity roste odpor vůči pohybu s velikostí vřetena. Pro stanovení reologických vlastností se může rozsah měření přizpůsobovat zvolením vhodné kombinace vřetena a rychlosti otáčení. Je nezbytné znát nejdůležitější reologické vlastnosti daného vzorku a to zejména k získání relevantních

výsledků. Nutností tedy je vyhodnocení, která nám určí, o jaký typ materiálu se jedná a jak jej správně hodnotit.



**Obrázek 7:** Rotační viskozimetr Anton Paar DV3-P (Severa, 2008)

#### **Technické údaje použitého stroje:**

##### Rozsahy měření pro standartní vřetena

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

\*) omezeno vlivem turbulence, \*\*) pro měření odpovídající 10% plného rozsahu

##### Rozlišení

- pro adaptér „nízká viskozita“: 0,01
- viskozita < 10 000  $mPa.s$ : 0,1
- viskozita > 10 000  $mPa.s$ : 1

##### Přesnost

- +/- 1% z plného rozsahu

### Opakovatelnost

- +/- 0,2% z plného rozsahu

### Hodnoty momentu (plné zatížení)

- DV-3P L: 0,07 *mN.m*
- DV-3P R: 0,7 *mN.m*
- DV-3P H: 5,8 *mN.m*

### Teplota místnosti

- 10 – 35 °C

### Vlhkost

- max. 80% RH do 31 °C
- max. 50% RH do 40 °C

### Teplotní senzor Pt 100:

- Rozsah: 0 – 100 °C
- Rozlišení: 0,1 °C
- Přesnosti: +/- 0,25 °C
- Opakovatelnost: +/- 0,1 °C

### Výstupy

- RS 232
- Zapisovač 1 kanál
- 0 V do 5 V DC vstup
- Přesnost nejméně 1 % z plného rozsahu

### Rozměry (d x š x v)

- 350 x 300 x 500 mm

### Materiál vřeten:

- AISI 316 nerez ocel

K měření viskozity vaječného žloutku bylo použito standardizované vřeteno s označením TR8. Tento typ vřetena je nejvíc vhodný pro kapaliny podobných vlastností. Množství vzorku, které se používalo k měření viskozity, se pohybovalo okolo 15 ml. Měření probíhalo v místnosti o teplotě 18 °C. Pro stanovení tokových a viskózních křivek byla použita smyková rychlost v rozmezí 0,279 – 93 l/s, zatímco u stanovení časové závislosti viskozity byla zvolena konstantní smyková rychlost 10 l/s.

#### 4.2.9 Matematický model

Matematický model byl sestaven pomocí softwaru Microsoft® Excel 2013 (15.0.4753.1003) a také pomocí programu Statistica 12.

Přesnost proložených funkcí byla zjišťována pomocí koeficientu determinace  $R^2$  a stupně významnosti ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ).

### 4.3 Statistické zpracování

Zjištěné údaje byly zpracovány v programech uvedených v kapitole 4.2.9 a při vyhodnocování výsledků bylo použito základních statistických charakteristik:

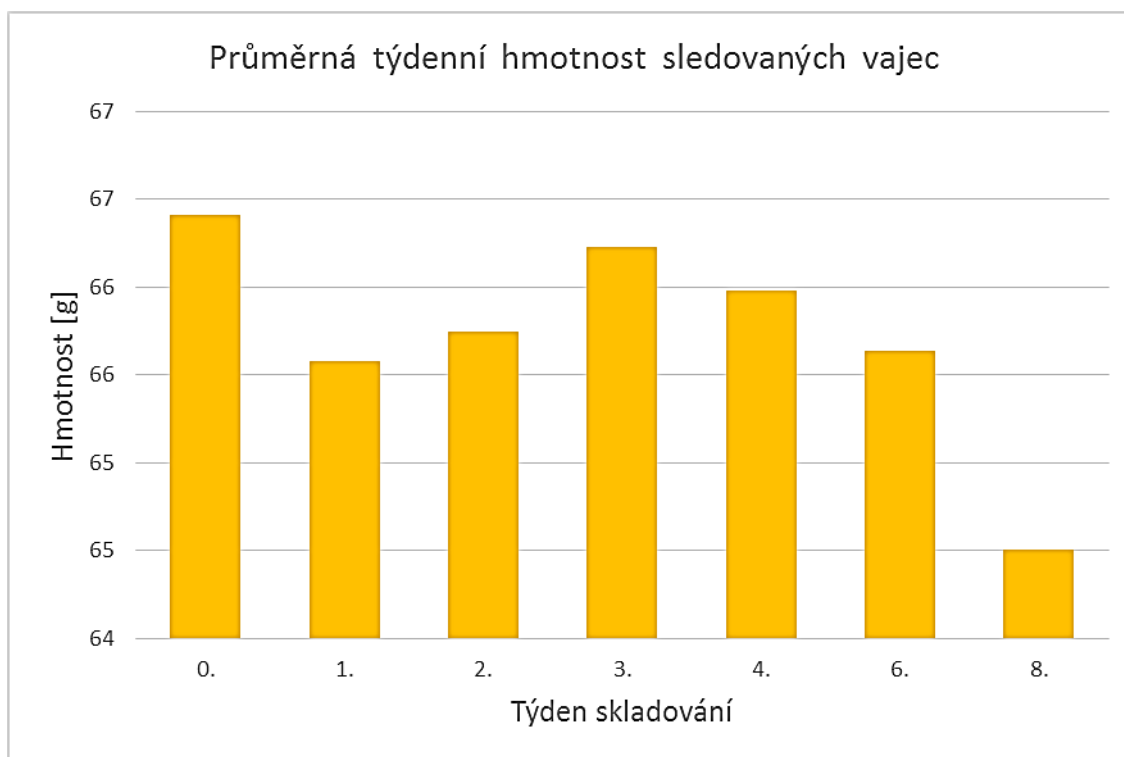
- počet vzorků  $n$
- aritmetický průměr  $\bar{x}$
- směrodatná odchylka  $S_x$
- variační koeficient  $V_x$
- minimální hodnota  $x_{min}$
- maximální hodnota  $x_{max}$
- modus  $Mod$

Statistická průkaznost u jednotlivých měření byla vyhodnocena pomocí Wilcoxonova párového testu. Vysoce průkazný rozdíl ( $p < 0,01$ ) se v tabulce značí symbolem ++ a průkazný rozdíl ( $p < 0,05$ ) se značí symbolem +. Statisticky neprůkazné rozdíly se v tabulce vyjadřují pomocí zkratky SN.

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Hmotnost vajec a její úbytek v průběhu skladování

V případě hmotnosti sledovaných vajec bylo použito celkem 187 vzorků. Průměrná hmotnost čerstvého vejce byla 66,55 g, nejmenší čerstvé vejce vážilo 61,89 g a největší 72,19 g. Tímto rozpětím se sledované vejce řadí do hmotnostní skupiny L, velká vejce. Týdenní vývoj průměrných hodnot hmotností sledovaných vajec je znázorněn na obrázku 8 a také v tabulce 8 společně se základními statistickými charakteristikami. Variační koeficient se pohyboval v rozpětí hodnot 3,82 – 4,75 %.



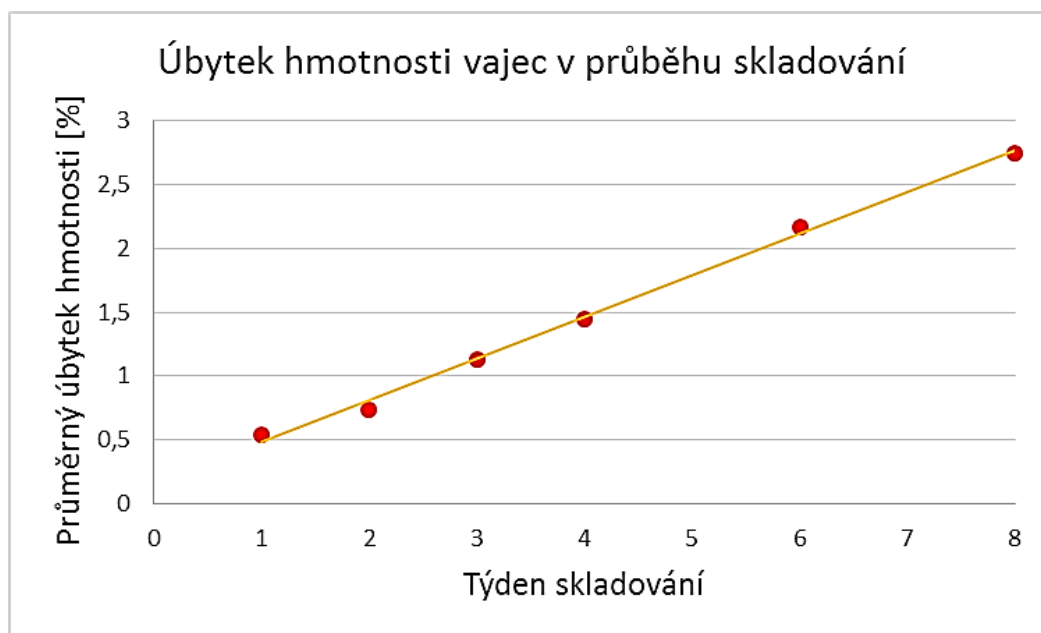
**Obrázek 8:** Grafické znázornění týdenního vývoje průměrných hmotností sledovaných vajec

Za standartní slepičí vejce se považují ty, jejichž hmotnost se pohybuje v rozmezí 58 – 62 g. (*Simeonovová, 2013*). Dle jiného autora existuje i jiné rozpětí, kdy se může vejce považovat za standartní, a to 35 – 77 g (*Lazar, 1990*). Námi měřené jednotlivé hodnoty se pohybovaly mezi 60,44 – 71,87 g, tudíž by se daly sledované vejce považovat za standartní.

**Tabulka 8:** Základní statistické charakteristiky hmotnosti sledovaných vajec

Týden	$n$	$\bar{x}$ [g]	$S_x$	$V_x$ [%]	$x_{max}$ [g]	$x_{min}$ [g]
0.	22	66,41	3,16	4,75	71,87	61,89
1.	30	65,57	2,50	3,82	71,64	61,59
2.	30	65,75	3,10	4,72	71,49	61,14
3.	30	66,23	2,62	3,95	71,36	61,47
4.	20	65,98	2,71	4,11	70,70	62,13
6.	30	65,63	2,96	4,51	70,98	61,03
8.	25	64,50	2,64	4,10	70,52	60,44

Hodnoty úbytku hmotnosti vajec vysycháním v průběhu skladování jsou zaznamenány na obrázku 9, z něhož je jasně patrný narůstající úbytek hmotnosti s prodlužováním doby skladování. Teplota skladování byla konstantní. Úbytek hmotnosti vajec se pohyboval v rozmezí 0,30 – 6,70 % a byl stanoven za pomoci vztahu uvedeného v kapitole 4.2.1.



**Obrázek 9:** Grafické znázornění vývoje průměrného úbytku hmotnosti vajec v průběhu skladování

Dle předpokladu byl nejvyšší průměrný úbytek hmotnosti u sledovaných vajec zaznamenán při nejdelší době skladování, tedy v 8. týdnu (2,74 %). Na druhou stranu nej-

nižší průměrný úbytek hmotnosti byl sledován v 1. týdnu skladování (0,54 %). K potvrzení poklesu hmotnosti vejce v průběhu skladování se ve své studii dopracoval také Samli (2005). Ten měřil vejce po dvou, pěti a deseti dnech skladování a dopracoval se k úbytkům hmotností v rozmezí 0,17 – 1,94 %. Základní statistické charakteristiky úbytku hmotnosti jsou uvedeny v tabulce 9.

**Tabulka 9:** Průměrný úbytek hmotnosti [%] slepičích vajec v průběhu skladování

<i>Týden</i>	<i>n</i>	$\bar{x}$ [%]	$S_x$	$V_x$ [%]	$x_{max}$	$x_{min}$
<b>1.</b>	30	0,54	0,20	37,15	1,14	0,30
<b>2.</b>	30	0,74	1,73	232,32	3,97	-7,86
<b>3.</b>	30	1,13	0,97	85,72	2,43	-3,60
<b>4.</b>	20	1,45	0,74	51,51	2,70	-1,17
<b>6.</b>	30	2,17	0,99	45,47	6,70	1,21
<b>8.</b>	25	2,74	0,42	15,22	3,90	2,19

Statistická průkaznost rozdílů úbytků hmotností slepičích vajec v průběhu osmi týdnů skladování je uvedena v tabulce 10. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí Wilcoxonova párového testu. Vysoce průkazný rozdíl ( $p < 0,01$ ) byl zjištěn mezi čerstvými vejci a 1. – 8. týdnem skladování. Průkazný rozdíl ( $p < 0,05$ ) v úbytku hmotnosti byl zaznamenán mezi 4. a 8. týdnem skladování. Zbylé rozdíly nebyly statisticky průkazné.

**Tabulka 10:** Statistická průkaznost změn úbytku hmotnosti [%] slepičích vajec v průběhu skladování

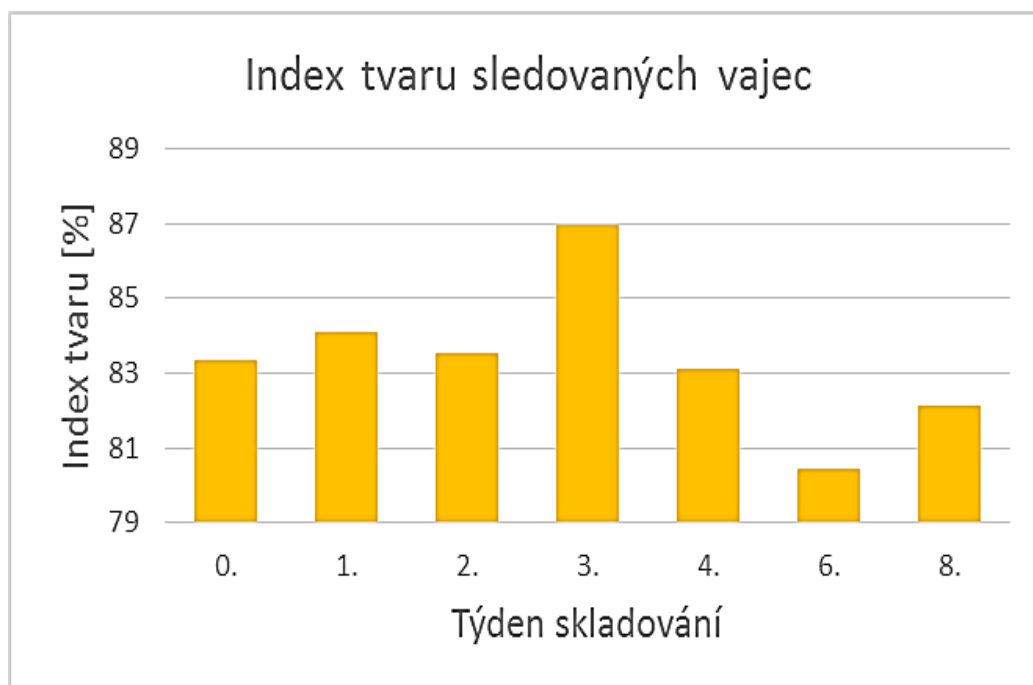
<i>Týden</i>	<b>0.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>6.</b>	<b>8.</b>
<b>0.</b>							
<b>1.</b>	++						
<b>2.</b>	++	SN					
<b>3.</b>	++	SN	SN				
<b>4.</b>	++	SN	SN	SN			
<b>6.</b>	++	SN	SN	SN	SN		
<b>8.</b>	++	SN	SN	SN	+	SN	

+  $p < 0,05$ , ++  $p < 0,01$ , SN – statisticky neprůkazný

## 5.2 Index tvaru sledovaných vajec

Mezi důležité ukazatele pro bezpečnou manipulaci s vejci a jejich balení se řadí i index tvaru vejce, který je dán již při naskladnění, a proto zde nebyl předpoklad jeho změny v souvislosti s délkou skladování. Zjištěné hodnoty tohoto parametru se pohybovaly v rozmezí 72,26 – 84,60 % a byly určeny pomocí vztahu uvedeného v kapitole 4.2.2. Variační koeficient tohoto znaku byl statisticky stanoven na hodnotu 3,38 %. Nejnižší zjištěná individuální hodnota indexu tvaru vejce byla 71,70 %, na druhou stranu nejvyšší individuální hodnota indexu tvaru vejce 86,94 %.

Graficky je index tvaru vajec znázorněn v obrázku 10. O vejce kulatého tvaru se jedná, pokud se index tvaru vejce blíží hodnotě 100 %. Ačkoliv mají kulatější vejce vyšší odolnosti vůči tlaku, vyšší hodnota indexu tvaru však způsobuje problémy při manipulaci a balení skořápkových vajec (*Tharrington a kol., 2000*). Index tvaru vejce je závislý na původu vajec, tedy zejména na plemenu nosnice. Vejce běžně dosahují indexu tvaru 63 – 85 %. Vejce s indexem tvaru 70 – 80 % jsou nejvhodnější pro balení a průmyslové zpracování. Sledované vejce by tedy byla vhodná i pro průmyslové zpracování (*Simeonovová, 2013*).



**Obrázek 10:** Grafické znázornění průměrného indexu tvaru sledovaných slepičích vajec, který je nezávislý na délce skladování



### 5.3 Barva žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování

U sledovaných slepičích vajec se hodnoty barvy žloutku pohybovaly v intervalu 9 – 14. Barva žloutku byla zjišťována pomocí stupnice La Roche, více v kapitole 4.2.3.

Základní statistické charakteristiky týkající se barvy žloutku pozorovaných slepičích vajec v průběhu skladování jsou uvedeny v tabulce 11. Modus nám definuje hodnotu, která se nejčastěji v daném týdnu měření vyskytuje. U sledovaných žloutků se modus v průběhu skladování pohyboval v rozmezí hodnot 12 – 13. Nejsytější žloutek byl, zaznamenan u čerstvého vejce a dosahoval hodnoty 15.

**Tabulka 11:** Základní statistické charakteristiky barvy žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování

<i>Týden</i>	<i>n</i>	<i>x<sub>max</sub></i>	<i>x<sub>min</sub></i>	<i>Mod</i>
<b>0.</b>	21	15	9	vícenásobný
<b>1.</b>	18	14	11	12
<b>2.</b>	19	14	10	12
<b>3.</b>	15	14	11	13
<b>4.</b>	17	14	10	12
<b>6.</b>	21	14	11	13
<b>8.</b>	19	14	10	13

K poklesu intenzity barvy žloutku v průběhu skladování dochází zejména kvůli difúzi vody z bílku do žloutku. Důsledkem změn koncentrace vody následně dochází k nerovnoměrnému rozložení pigmentů uvnitř žloutku a může se objevovat tzv. mramorování. Tento jev také zhoršuje oddělitelnost žloutku od bílku, čím se v technologické praxi zvyšují ztráty, a výroba se komplikuje (Simeonovová, 2013). Statistická průkaznost rozdílů barvy žloutků u sledovaných slepičích vajec je znázorněna v tabulce 12.

Tabulky 11 a 12 uvádějí, že byla barva žloutku ovlivněna délkou skladování. Za pomoci statistického Wilcoxonového párového testu byly zjištěny vysoce průkazné rozdíly v barvě žloutku sledovaných slepičích vajec v posledních týdnech skladování oproti žloutku vajec skladovaných kratší dobu.

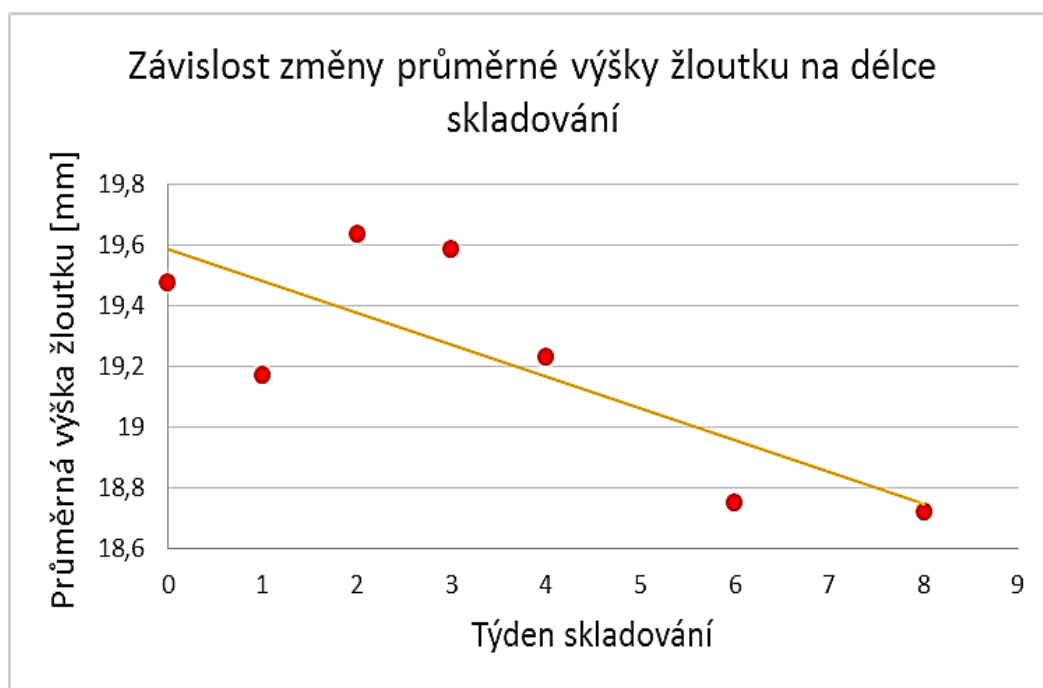
**Tabulka 12:** Statistická průkaznost rozdílu barvy žloutku v průběhu skladování

Týden	0.	1.	2.	3.	4.	6.	8.
0.							
1.	+						
2.	SN	SN					
3.	SN	+	+				
4.	SN	SN	SN	SN			
6.	SN	SN	+	SN	SN		
8.	SN	+	SN	SN	SN	SN	

+  $p < 0,05$ , ++  $p < 0,01$ , SN – statisticky neprůkazný

#### 5.4 Vliv délky skladování na pokles výšky žloutku

Postup, který je potřeba dodržovat v průběhu stanovení výšky žloutku sledovaných slepičích vajec, je uveden v kapitole 4.2.4. Průměrná výška žloutku u slepičích vajec se během skladování pohybovala v rozmezí 18,72 – 19,64 mm. Pokles výšky žloutků v průběhu skladování je graficky znázorněn na obrázku 11. Nejnižší průměrná hodnota výšky žloutku byla zjištěna v posledním týdnu sledování (18,72 mm), naopak nejvyšší průměrná hodnota výšky žloutku ve 2. týdnu skladování (19,64 mm).



**Obrázek 11:** Grafické znázornění závislosti průměrné výšky žloutku slepičích vajec na délce skladování

Čím je žloutek vyšší, tím je i čerstvost vejce vyšší. U čerstvých vajec se výška žloutku pohybuje nad hodnotu 16 mm. Stářím a vlivem skladování se snižuje pod 14 mm (Václavovský, 2000).

Základní statistické charakteristiky týkající se výšky žloutku pozorovaných slepičích vajec v průběhu skladování jsou uvedeny v tabulce 13. Variační koeficient se pohyboval v rozpětí hodnot 2,81 – 15,34 %.

**Tabulka 13:** Základní statistické charakteristiky výšky žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování

Týden	<i>n</i>	<i>x</i> [mm]	<i>S<sub>x</sub></i>	<i>V<sub>x</sub></i> [%]	<i>x<sub>max</sub></i>	<i>x<sub>min</sub></i>
<b>0.</b>	21	19,48	0,88	4,52	20,62	17,66
<b>1.</b>	18	19,17	0,94	4,90	20,90	17,78
<b>2.</b>	19	19,64	0,55	2,81	20,70	18,61
<b>3.</b>	15	19,59	3,01	15,34	30,08	17,80
<b>4.</b>	17	19,23	0,68	3,52	20,06	18,05
<b>6.</b>	21	18,75	1,69	8,99	20,90	12,82
<b>8.</b>	19	18,72	1,56	8,32	21,05	15,28

V tabulce 14 je uvedena za pomoci Wilcoxonového párového testu statistická průkaznost změn výšky žloutku slepičích vajec v průběhu skladování. Mimo průkazného rozdílu ( $p < 0,05$ ) mezi čerstvými vejci a vejci skladovanými 2 týdny, nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl změn výšek žloutků sledovaných slepičích vajec.

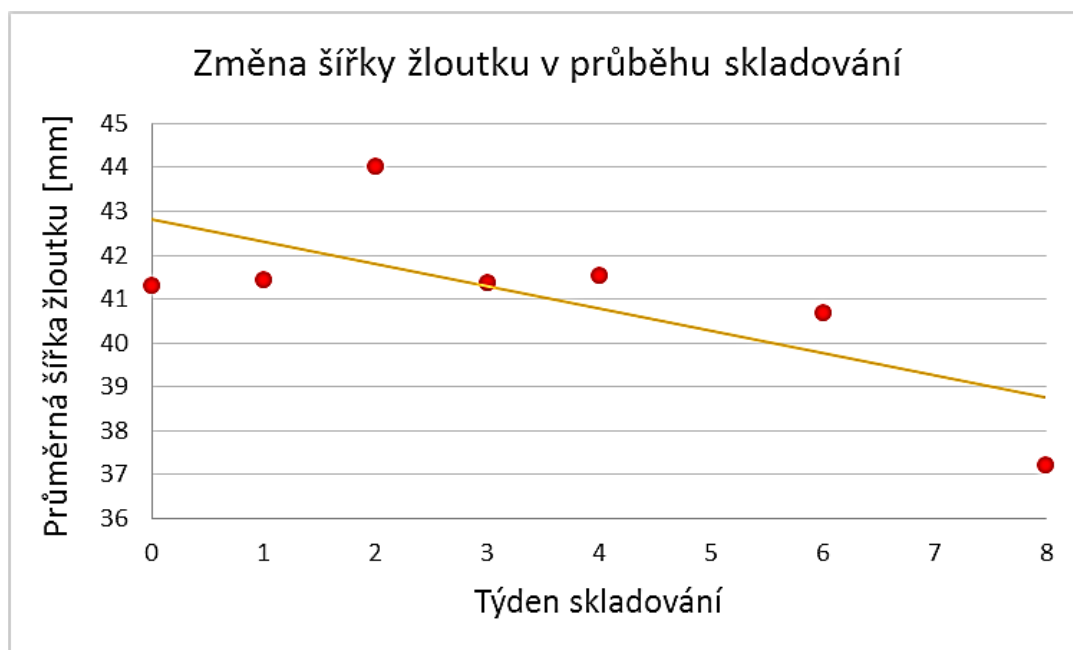
**Tabulka 14:** Statistická průkaznost změny výšky žloutku slepičích vajec v průběhu skladování

Týden	<b>0.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>6.</b>	<b>8.</b>
<b>0.</b>							
<b>1.</b>	SN						
<b>2.</b>	SN	SN					
<b>3.</b>	SN	SN	SN				
<b>4.</b>	SN	SN	SN	SN			
<b>6.</b>	SN	SN	+	SN	SN		
<b>8.</b>	+	SN	SN	SN	SN	SN	

+  $p < 0,05$ , ++  $p < 0,01$ , SN – statisticky neprůkazný

## 5.5 Změna šířky žloutku v průběhu skladování

Při stanovení šířky žloutku slepičích vajec je potřeba dodržovat postup uvedený v kapitole 4.2.4. V průběhu skladování se průměrná šířka žloutku sledovaných vajec pohybovala v rozmezí 37,23 – 41,43 mm. Vývoj šířky žloutků u sledovaných vajec je graficky znázorněn na obrázku 12. Nejmenší průměrná šířka žloutku byla zjištěna v posledním týdnu skladování (37,23 mm), největší průměrná šířka ve 2. týdnu skladování (41,43 mm).



**Obrázek 12:** Změna šířky žloutku v průběhu skladování u sledovaných vajec

Základní statistické charakteristiky změny šířky žloutku sledovaných slepičích vajec v průběhu skladování jsou zaznamenány v tabulce 15. Pro sledované slepičí vejce je v tabulce 16 uvedena statistická průkaznost změn výšky žloutku v průběhu skladování, která byla zjištěna za pomoci Wilcoxonového párového testu. Průkazný rozdíl ( $p < 0,01$ ) byl sledován mezi každým týdnem skladování a 8. týdnem skladování a také mezi 2. a 6. týdnem skladování. Pro ostatní týdny skladování nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl ve změně šířky žloutku.

**Tabulka 15:** Základní statistické charakteristiky šířky žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování

<i>Týden</i>	<i>n</i>	<i>x [mm]</i>	<i>S<sub>x</sub></i>	<i>V<sub>x</sub> [%]</i>	<i>x<sub>max</sub></i>	<i>x<sub>min</sub></i>
<b>0.</b>	21	41,30	1,58	3,83	43,66	37,79
<b>1.</b>	18	41,43	1,39	3,35	44,02	39,07
<b>2.</b>	19	44,04	6,56	14,89	68,81	38,90
<b>3.</b>	15	41,38	1,83	4,41	45,11	38,40
<b>4.</b>	17	41,53	1,21	2,92	43,33	38,95
<b>6.</b>	21	40,70	2,41	5,93	44,68	35,46
<b>8.</b>	19	37,23	3,23	8,68	42,19	31,40

**Tabulka 16:** Statistická průkaznost změny šířky žloutku slepičích vajec v průběhu skladování

<i>Týden</i>	<b>0.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>6.</b>	<b>8.</b>
<b>0.</b>							
<b>1.</b>	SN						
<b>2.</b>	SN	SN					
<b>3.</b>	SN	SN	SN				
<b>4.</b>	SN	SN	SN	SN			
<b>6.</b>	SN	SN	++	SN	SN		
<b>8.</b>	++	++	++	++	++	++	

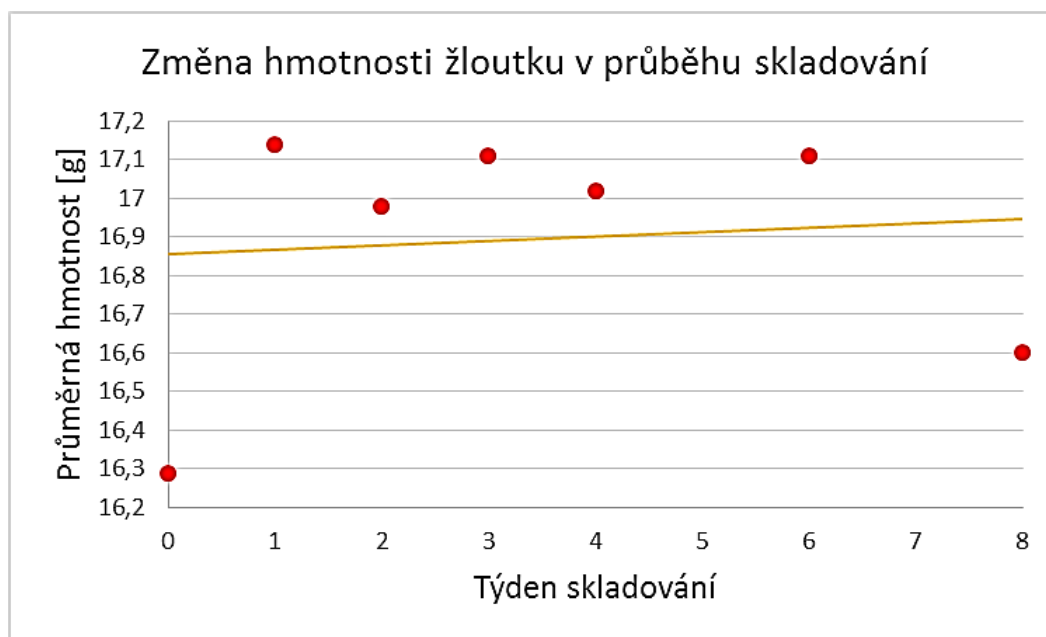
+  $p < 0,05$ , ++  $p < 0,01$ , SN – statisticky neprůkazný

## 5.6 Vliv délky skladování na změnu hmotnosti žloutku

Od počátku skladování po poslední týden skladování se průměrné hodnoty žloutku slepičích vajec pohybovaly v rozmezí 16,62 – 17,10 g. Nejvyšší průměrná hmotnost žloutku 17,14 g byla zjištěna v 1. týdnu skladování, nejnižší průměrná hmotnost žloutku byla zjištěna u čerstvého slepičího vejce, tedy v 0. týdnu skladování. Hmotnost sledovaných slepičích vajec se po celou dobu skladování téměř neměnila, a tak nebyl zjištěn vliv délky skladování na hmotnostní změnu žloutku. Graficky jsou průměrné hodnoty hmotnosti žloutku sledovaných vajec znázorněny na obrázku 13.

Variační koeficient se u sledovaných vajec pohyboval v rozpětí 6,98 – 9,33 %. Základní statistické charakteristiky týkající se hmotnosti žloutku slepičích vajec jsou uvedeny v tabulce 17. Studie od Akyurek (2009) a Samli (2005) potvrzují náš závěr, že se

hmotnost žloutků sledovaných slepičích vajec v průběhu skladování nemění. Je to zřejmě způsobeno nižší teplotou skladování a také odlišným snáškovým cyklem. Scott (2000) se ve své práci také nedopracoval k výsledku, který by potvrdil vliv délky skladování na pokles či zvyšování hmotnosti žloutku.



**Obrázek 13:** Grafické znázornění vývoje hmotnosti žloutku v průběhu skladování

Hmotnost žloutku slepičích vajec závisí na druhu a věku nosnice. U mladých slepic dosahuje žloutek hmotnosti okolo 9 g, u dospělých jedinců 15 – 20 g a koncem snášky může hmotnost žloutku vzrůst až na 23 i více gramů.

**Tabulka 17:** Základní statistické charakteristiky hmotnosti žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování

Týden	$n$	$x$ [g]	$S_x$	$V_x$ [%]	$x_{max}$ [g]	$x_{min}$ [g]
<b>0.</b>	17	16,30	1,21	7,45	18,77	13,81
<b>1.</b>	17	17,14	1,20	6,98	20,05	15,93
<b>2.</b>	17	16,98	1,58	9,33	20,66	14,46
<b>3.</b>	13	17,11	1,40	8,18	18,73	14,41
<b>4.</b>	14	17,02	1,33	7,81	19,28	14,75
<b>6.</b>	12	17,11	1,43	8,35	18,93	14,81
<b>8.</b>	14	16,60	1,25	7,54	17,76	13,09

V tabulce 18 je uvedena statistická průkaznost vlivu délky skladování na hmotnost žloutku slepičích vajec. Nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl vlivu délky skladování na hmotnost žloutku.

**Tabulka 18:** Statistická průkaznost změny hmotnosti žloutku slepičích vajec v průběhu skladování

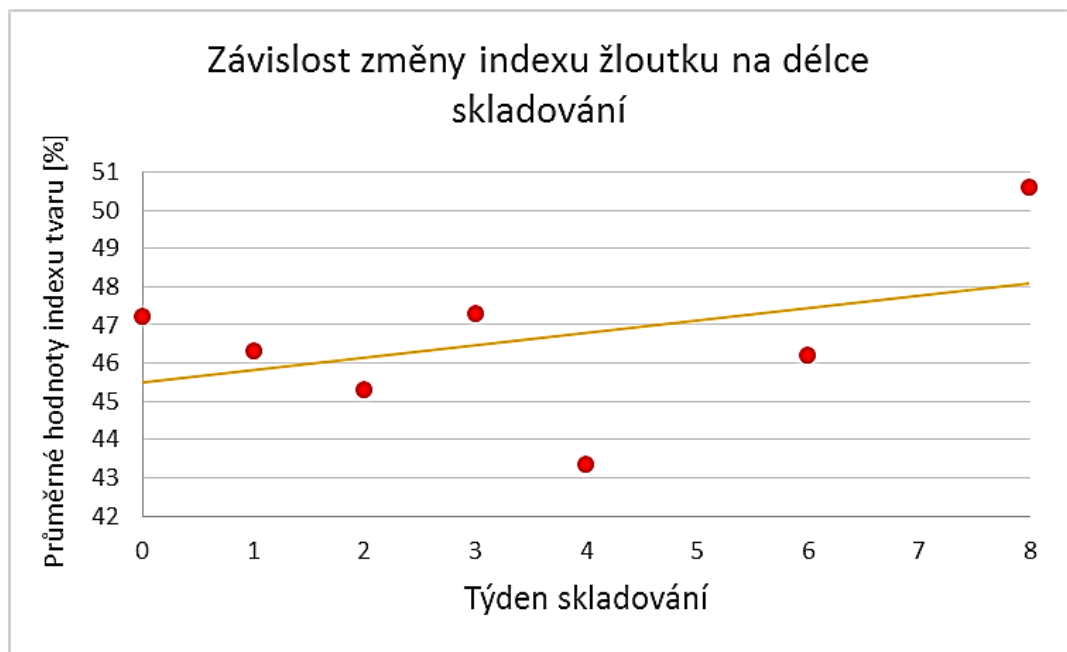
<i>Týden</i>	<b>0.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>6.</b>	<b>8.</b>
<b>0.</b>							
<b>1.</b>	SN						
<b>2.</b>	SN	SN					
<b>3.</b>	SN	SN	SN				
<b>4.</b>	SN	SN	SN	SN			
<b>6.</b>	SN	SN	SN	SN	SN		
<b>8.</b>	SN	SN	SN	SN	SN	SN	

+ p < 0,05, ++ p < 0,01, SN – statisticky neprůkazný

### 5.7 Závislost změny indexu žloutku na délce skladování

Od počátku do posledního týdne skladování se průměrné hodnoty indexu žloutku sledovaných slepičích vajec pohybovaly v rozmezí 48,38 – 45,30 %. Hodnoty indexu žloutku jsme získali podle vztahu uvedeného v kapitole 4.2.6. Nejvyšší průměrná hodnota indexu žloutku byla zjištěna v posledním, tedy 8. týdnu skladování a odpovídala 50,60 %. Nejnižší průměrná hodnota indexu žloutku 43,36 % byla zjištěna ve 4. týdnu skladování. Graficky je vývoj průměrných hodnotu indexu sledovaných vajec znázorněn na obrázku 14.

Čím je vejce starší, tím je žloutek nižší a širší. Tvar žloutku není závislý pouze na pevnosti, ale také na elasticitě žloutkové membrány, která se stárnutím snižuje. Index žloutku se u čerstvých vajec pohybuje v rozmezí 43 – 45 %, oproti starým žloutkům, jejichž index klesá až na 22 % (Trojanová, 2004). Samli (2005) se ve své práci dopracoval k výsledku, který potvrzuje vliv délky skladování na index žloutku vajec.



**Obrázek 14:** Závislost změny indexu žloutku na délce skladování u sledovaných vajec

Základní statistické charakteristiky změny indexu žloutku v průběhu skladování jsou zaznamenány v tabulce 19.

**Tabulka 19:** Základní statistické charakteristiky indexu žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování

Týden	$n$	$x$ [%]	$S_x$	$V_x$ [%]	$x_{max}$	$x_{min}$
<b>0.</b>	21	47,22	2,35	4,97	51,16	41,94
<b>1.</b>	18	46,31	2,75	5,94	51,15	42,71
<b>2.</b>	19	45,32	5,33	11,75	52,52	27,76
<b>3.</b>	15	47,31	6,19	13,08	68,10	41,53
<b>4.</b>	17	43,36	2,40	5,18	50,56	42,53
<b>6.</b>	21	46,21	4,85	10,49	52,84	31,15
<b>8.</b>	19	50,60	5,70	11,26	59,01	36,22

V tabulce 20 je uvedeno statistické vyhodnocení průkaznosti změny indexu žloutku mezi jednotlivými týdny v průběhu skladování slepičích vajec. Vysoce průkazný rozdíl ( $p < 0,01$ ) byl zjištěn mezi 1., 2. a 8. týdnem skladování. Mezi čerstvými vejci a vejci v 8. týdnu skladování byl zjištěn průkazný rozdíl a také mezi 4., 6. a 8. týdnem skladování.



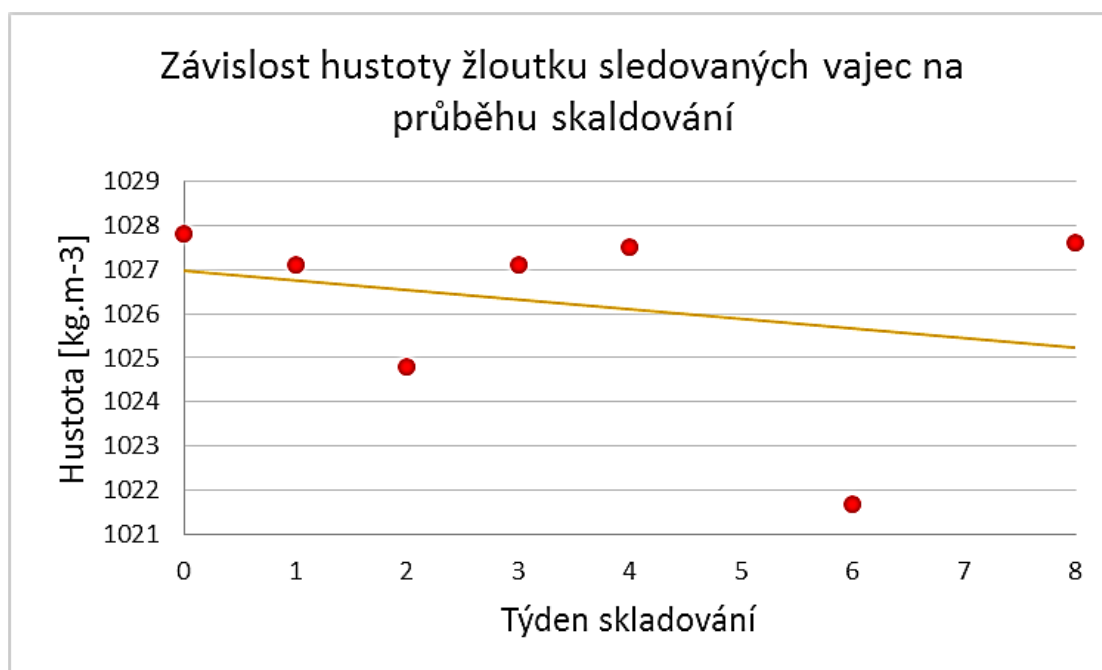
**Tabulka 20:** Statistická průkaznost změny indexu žloutku slepičích vajec v průběhu skladování

Týden	0.	1.	2.	3.	4.	6.	8.
0.							
1.	SN						
2.	SN	SN					
3.	SN	SN	SN				
4.	SN	SN	SN	SN			
6.	SN	SN	SN	SN	SN		
8.	+	++	++	SN	+	+	

+  $p < 0,05$ , ++  $p < 0,01$ , SN – statisticky neprůkazný

### 5.8 Změna hustoty žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování

Měrnou hmotnost neboli relativní hustotu jsme získali díky postupu uvedenému v kapitole 4.2.7. Jak je vidět na obrázku 15, hustota žloutku se mění v průběhu skladování jen velmi málo. Nejnižší hustota byla naměřena v 6. týdnu skladování a odpovídala hodnotě  $1021,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , na druhou stranu nevyšší hustota byla pozorována u čerstvých vajec, tedy  $1027,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



**Obrázek 15:** Grafické znázornění změn hustoty žloutku sledovaných slepičích vajec v průběhu skladování

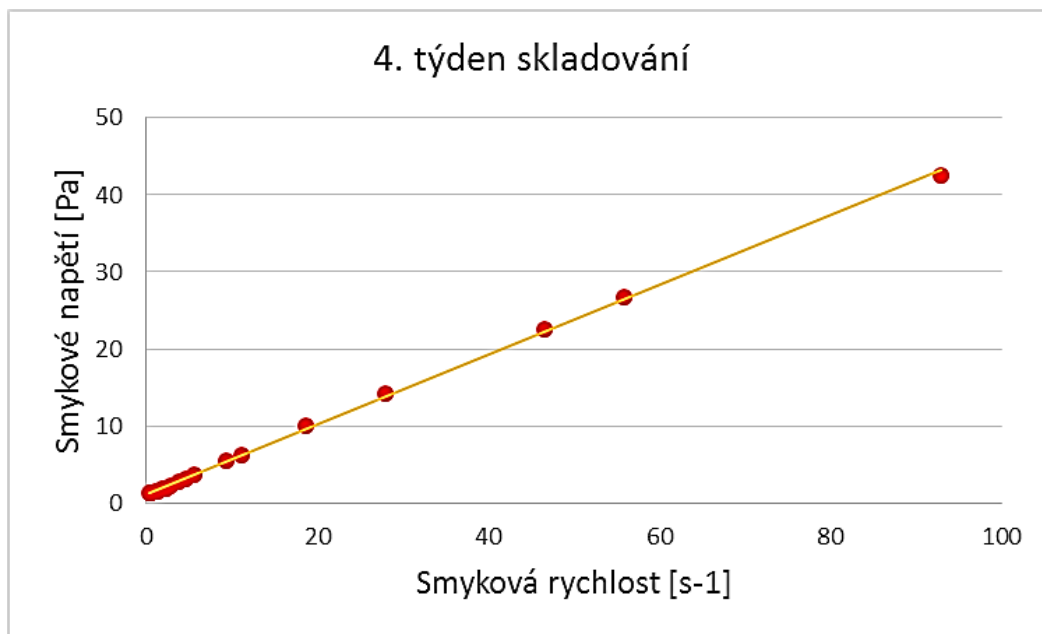
Průměrná měrná hmotnost čerstvého vejce dosahuje hodnoty  $1,095 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . U žloutku čerstvých slepičích vajec je při  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  dosahováno průměrné hustoty  $1,029 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Simonovová, 2013). Gavril a Usturoi (2011) a i Samli (2005) ve svých studiích došli k závěru, že se zvyšujícím se stářím vejce dochází k poklesu hustoty jeho žloutku. K lehkému poklesu hustoty žloutku dochází i v našem případě.

## 5.9 Tokové vlastnosti žloutku sledovaných slepičích vajec

Pro měření tokových vlastností žloutku byly připraveny homogenizované vzorky způsobem uvedeným v kapitole 4.2.8. K následujícímu měření se používal vzorek o objemu 15 ml, který byl homogenizovaný. Měření bylo provedeno na rotačním viskozimetru Anton Paar DV-3P, který byl popsán v kapitole 4.2.8.1. Následně byla stanovena závislost mezi smykovým napětím  $\tau$  a smykovou rychlostí  $\dot{\gamma}$  (rychlostí deformace), dále závislost mezi zdánlivou viskozitou  $\mu_a$  a rychlostí deformace a v poslední řadě bylo provedeno měření časové závislosti zdánlivé viskozity pro konstantní hodnotu rychlosti deformace  $\dot{\gamma} = 10 \text{ s}^{-1}$ . Cílem bylo prokázat, že žloutek patří mezi newtonovské kapaliny, a že v průběhu časové závislosti na konstantní rychlosti deformace prokazuje tixotropní chování.

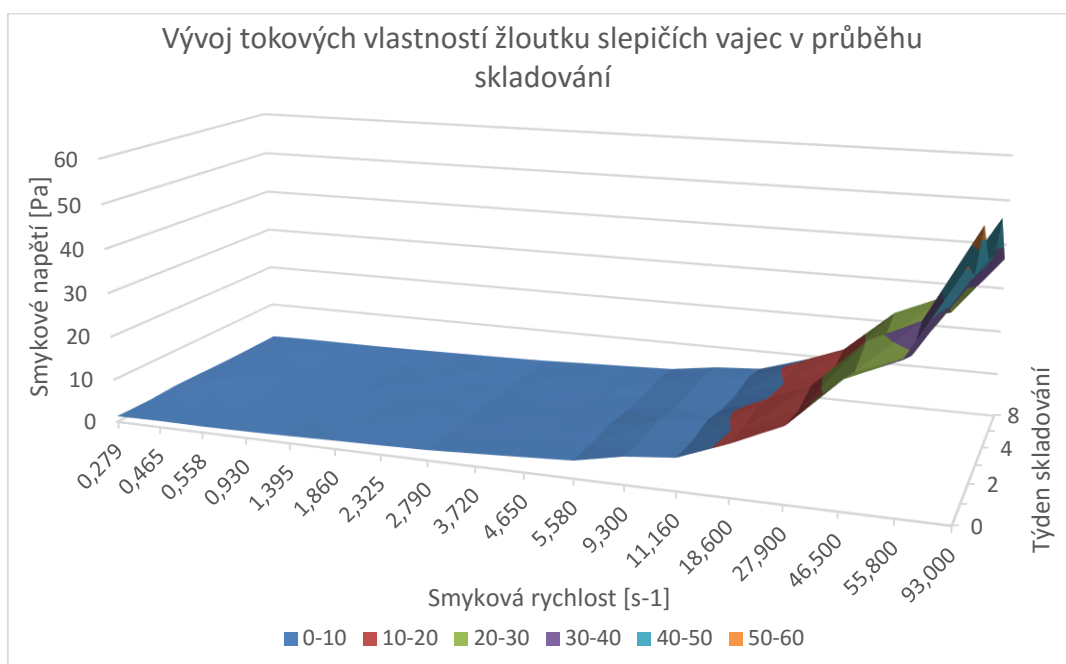
### 5.9.1 Vliv rychlosti deformace na smykové napětí vaječného žloutku

Na obrázku 16 je graficky znázorněn vliv rychlosti deformace na smykové napětí. Jedná se o data získaná z měření vzorku žloutku vajec ze 4. týdne skladování. Jak je vidět, se stoupající smykovou rychlostí rostlo i smykové napětí. Takové chování vykazuje právě žloutek slepičích vajec. Lineární závislosti mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí bylo dosaženo v práci Kumbára a kol. (2015). Strnková (2015) se ve své disertační práci nedopracovala k podobnému závěru. V jejím případě došlo k mírnému nárůstu smykového napětí se zvyšující se rychlostí deformace. Tento jev pozorovala jak u žloutku, bílku, tak i u melanže slepičích vajec.



**Obrázek 16:** Závislost smykového napětí na smykové rychlosti pro žloutek sledovaných slepičích vajec

Vývoj smykového napětí v závislosti na smykové rychlosti u žloutku sledovaných slepičích vajec v průběhu 8. týdenního skladování je zobrazen na obrázku 17. Jak lze vidět, ve všech týdnech skladování docházelo ke zvyšování smykového napětí při rostoucí smykové rychlosti.



**Obrázek 17:** Vliv doby skladování na tokové vlastnosti žloutku slepičích vajec

Díky rovnici  $\tau = \eta \frac{du}{dx} = \eta D = \eta \dot{\gamma}$ , blíže popsané na straně 38, byly zjištěny hodnoty, které prokazují, že se žloutek slepičího vejce řadí mezi newtonovské kapaliny. Koeficient determinace ( $R^2$ ), se pohyboval v rozmezí 0,9986 – 0,9996, jak je uvedeno v tabulce 21.

**Tabulka 21:** Parametry vaječného žloutku získané pomocí lineárního proložení získaných hodnot

<i>Týden</i>	$\eta [Pa \cdot s^{-1}]$	$R^2$
<b>0.</b>	0,5443	0,9994
<b>1.</b>	0,5000	0,9986
<b>2.</b>	0,5741	0,9995
<b>3.</b>	0,4717	0,9995
<b>4.</b>	0,4525	0,9993
<b>6.</b>	0,5132	0,9996
<b>8.</b>	0,3892	0,9988

V tabulce 22 je uvedeno statistické vyhodnocení průkaznosti smykového napětí žloutku mezi jednotlivými týdny v průběhu skladování a jednotlivými smykovými rychlostmi. Vysoce průkazný rozdíl ( $p < 0,01$ ) byl zjištěn mezi čerstvými vejci a vejci v 1., 2., 4. a 8. týdnem skladování. Dále pak mezi 1. a 4., 6. týdnem skladování a 2. a 3., 4., 6., a 8. týdnem skladování. Průkazný rozdíl ( $p < 0,05$ ) nebyl zjištěn vůbec.

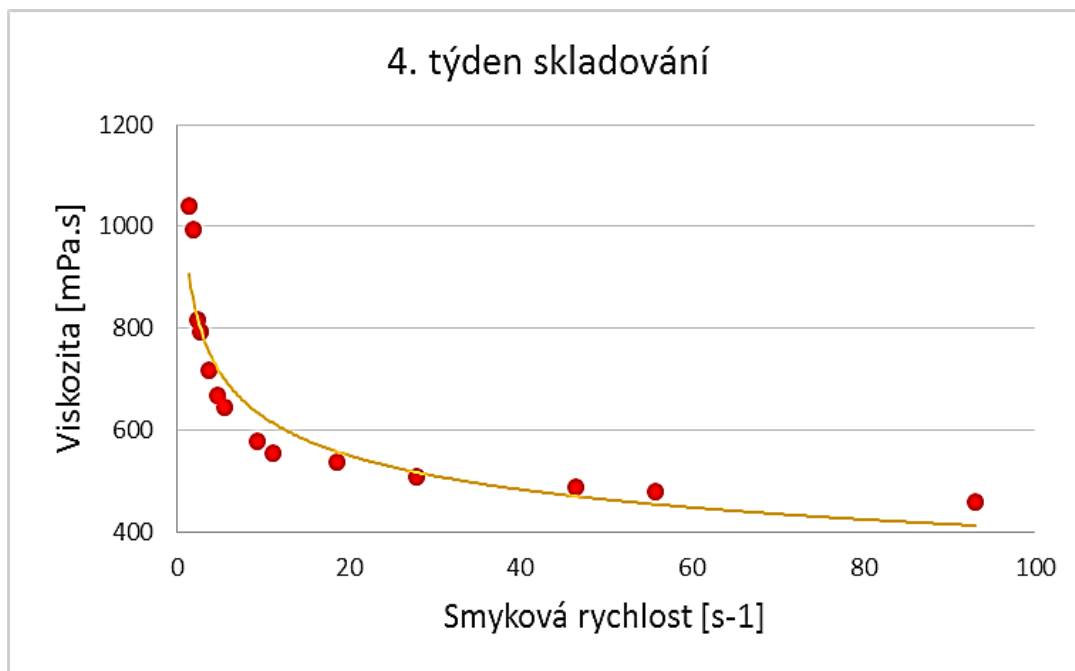
**Tabulka 22:** Statistická průkaznost změn viskozity žloutku slepičích vajec v průběhu skladování

<i>Týden</i>	<b>0.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>6.</b>	<b>8.</b>
<b>0.</b>							
<b>1.</b>	++						
<b>2.</b>	++	++					
<b>3.</b>	SN	SN	++				
<b>4.</b>	++	++	++	SN			
<b>6.</b>	SN	++	++	SN	++		
<b>8.</b>	++	SN	++	SN	SN	++	

+  $p < 0,05$ , ++  $p < 0,01$ , SN – statisticky neprůkazný

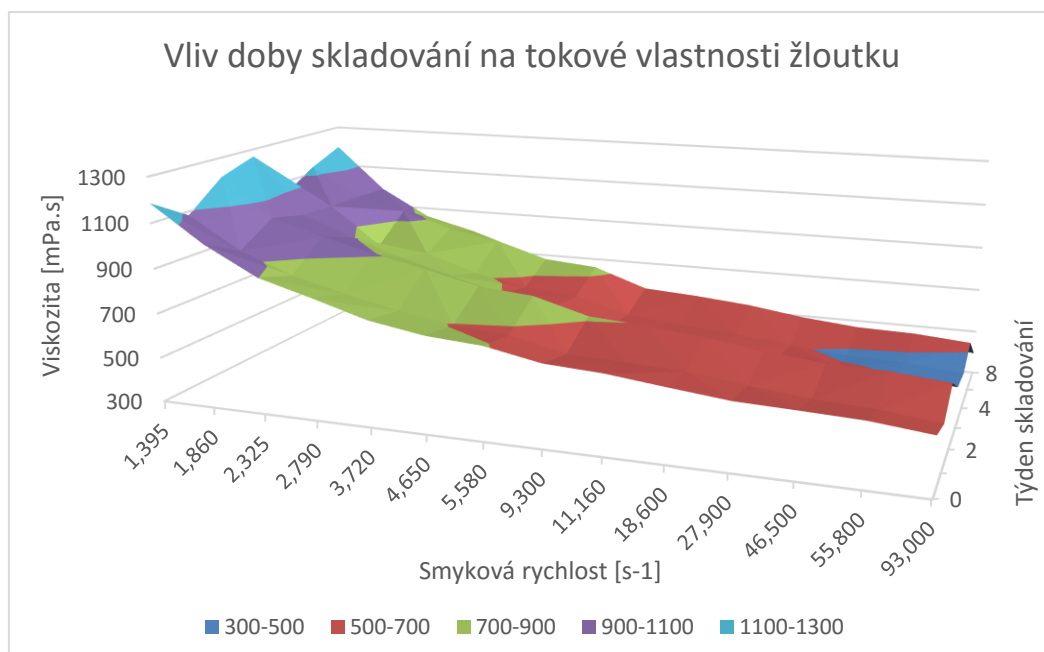
### 5.9.2 Vliv rychlosti deformace na zdánlivou viskozitu vaječného žloutku

Vliv rychlosti deformace na zdánlivou viskozitu je graficky zobrazen na obrázku 18. Jedná se o 4. týden skladování a celý graf byl proložen Ostwald-de Waele modelem, který byl použit i v ostatních týdnech skladování. Měření probíhalo v rozmezí  $1,392 - 93,0 \text{ s}^{-1}$ .



**Obrázek 18:** Vliv smykové rychlosti na zdánlivou viskozitu žloutku sledovaných vajec

Z obrázku 19 je zcela zřejmé, že viskozita žloutku sledovaných slepičích vajec klesá se zvyšující se smykovou rychlostí. K tomuto jevu docházelo ve všech týdnech skladování. Podobný průběh chování žloutků slepičích vajec v průběhu skladování byl zaznamenán v pracích Alamprese a kol. (2005), Dong-Un a kol. (1999) a i Severa a kol. (2008) prokázali ve své práci snižování zdánlivé viskozity se zvyšující se smykovou rychlostí. V další práci od Severy a kol. (2005) není popsán pouze vliv rychlosti deformace na zdánlivou viskozitu vaječných žloutků, ale také, jak se jejich chování měnilo v závislosti na teplotě skladování. Ve své práci zvolili čtyři různé teploty a to  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a některé vzorky ponechali při pokojové teplotě po dobu 1 – 3 dnů. Prokázali, že viskozita neklesá pouze s rostoucí smykovou rychlostí a se zvyšujícím se stářím vejce, ale také že klesá při stoupající teplotě skladování. Například, že viskozita žloutku dosahuje v 8. týdnu skladování při teplotě  $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$  jen 21 % hodnoty viskozity čerstvého žloutku.



**Obrázek 19:** Vliv doby skladování na tokové vlastnosti žloutku slepičích vajec

V tabulce 23 jsou uvedeny hodnoty koeficientu konzistence  $K$  a indexu toku  $n$  z jednotlivých sledovaných týdnů získané prostřednictvím programu Excel a mocinného proložení grafu. Koeficient determinace ( $R^2$ ) se pohybovala v rozmezí od 0,8450 – 0,9220. V tabulce 24 je uvedeno statistické vyhodnocení průkaznosti viskozity žloutku mezi jednotlivými týdny v průběhu skladování a jednotlivými smykovými rychlostmi. Vysoce průkazný rozdíl ( $p < 0,01$ ) byl zjištěn mezi čerstvými vejci a vejci v 1., 2., 4. a 8. týdnu skladování. Dále také mezi vejci skladovanými 2 týdny a vejci ve 3., 4., 6. a 8. týdnu skladování. Průkazný rozdíl ( $p < 0,05$ ) se objevil ve čtyřech případech.

**Tabulka 23:** Hodnoty koeficientů mocinné funkce v jednotlivých týdnech skladování

Týden	$K [Pa \cdot s^n]$	$n (-)$	$R^2$
<b>0.</b>	1018,3	0,842	0,8450
<b>1.</b>	961,3	0,841	0,8937
<b>2.</b>	1091,9	0,841	0,9128
<b>3.</b>	1053,5	0,797	0,8676
<b>4.</b>	965,4	0,812	0,9029
<b>6.</b>	1048,1	0,823	0,9220
<b>8.</b>	1033,5	0,759	0,9056

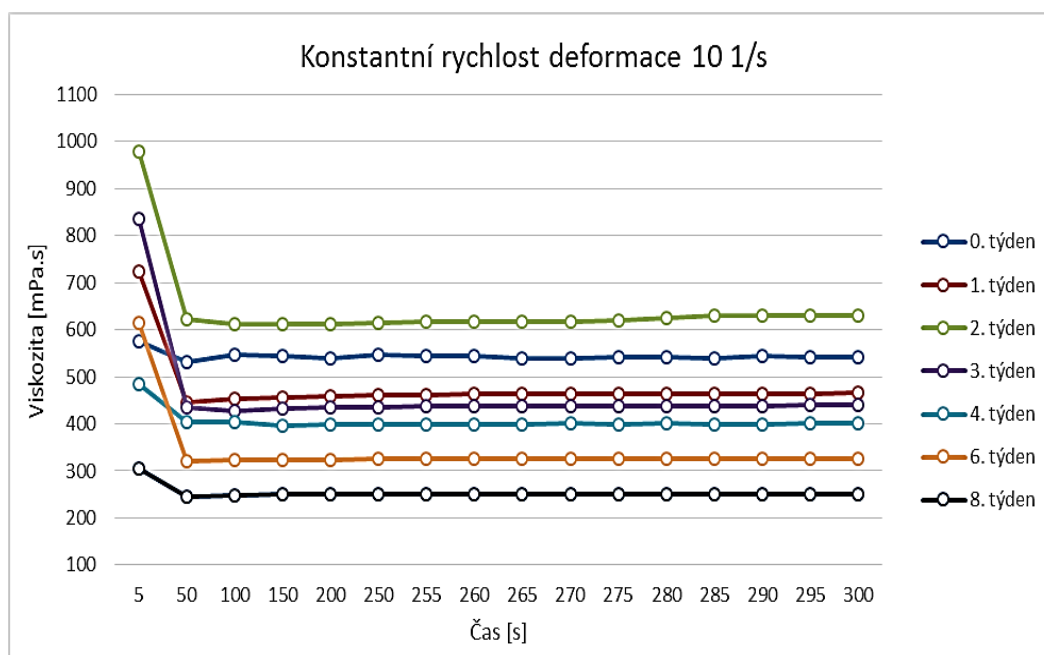
**Tabulka 24:** Statistická průkaznost změn viskozity žloutku slepičích vajec v průběhu skladování

Týden	0.	1.	2.	3.	4.	6.	8.
0.							
1.	++						
2.	++	++					
3.	+	SN	++				
4.	++	++	++	++			
6.	SN	++	++	+	++		
8.	++	+	++	++	+	++	

+ p < 0,05, ++ p < 0,01, SN – statisticky neprůkazný

### 5.9.3 Časová závislost viskozity žloutku na rychlosti deformace

Pro tuto časovou závislost byla vybrána konstantní smyková rychlost  $\dot{\gamma} = 10 \text{ s}^{-1}$ . Měření probíhalo po dobu 5 minut, tedy po dobu 300 s a hodnoty byly zapisovány po každých 5 s. Celkově jsme získali dohromady 60 hodnot pro každý týden skladování. Z výsledků, graficky znázorněných na obrázku 20, vyplývá, že se viskozita žloutku s časem mění. Jedná se o jasně viditelný pokles viskozity s časem, což znamená, že žloutek vykazuje tixotropní chování.



**Obrázek 20:** Grafické znázornění časové závislosti chování žloutku při konstantní rychlosti deformace v průběhu 8. týdnů skladování

Ke stejnému závěru se ve své habilitační práci dopracoval také Severa (2008) a i ve vědecké práci od Severy a kol. (2009) a Munoz a kol. (2001) byla potvrzeno tixotropní chování žloutku slepičích vajec. V tabulce 25 je uvedeno statistické vyhodnocení průkaznosti viskozity žloutku po dobu 5 minut za konstantní rychlosti deformace v průběhu 8 týdnů skladování. Vysoce průkazný rozdíl byl zjištěn ve všech možných případech.

**Tabulka 25:** Statistická průkaznost změn viskozity žloutku slepičích vajec v průběhu skladování

<i>Týden</i>	<b>0.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>6.</b>	<b>8.</b>
<b>0.</b>							
<b>1.</b>	++						
<b>2.</b>	++	++					
<b>3.</b>	++	++	++				
<b>4.</b>	++	++	++	++			
<b>6.</b>	++	++	++	++	++		
<b>8.</b>	++	++	++	++	++	++	

+  $p < 0,05$ , ++  $p < 0,01$ , SN – statisticky neprůkazný



## 6 ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se zaměřila na posouzení vlivu délky skladování na vybrané jakostní znaky slepičích vajec, konkrétně na fyzikální a reologické vlastnosti žloutku slepičích vajec. Hodnotícím kritériem změn při skladování byly tyto ukazatele: původní hmotnost vejce, úbytek hmotnosti vejce v průběhu skladování, index tvaru vejce, barva žloutku, hmotnost žloutku, výška a šířka žloutku a také index žloutku. Tyto parametry popisují vnitřní kvalitu slepičích vajec. Ukazuje se, že se tyto veličiny mění v celkovém průběhu skladování, které bylo v našem případě slepičích vajec omezeno na 8 týdnů. Hodnocení průkazností jednotlivých rozdílů v průběhu skladování bylo vyhodnoceno pomocí Wilcoxonova testu.

Právě v 8. týdnu skladování došlo k největšímu úbytku hmotnosti slepičích vajec a to až o 2,74 %. Doba skladování ve velké míře ovlivnila také výšku a šířku žloutku. Tyto veličiny se s rostoucí dobou skladování snižovaly. U výšky žloutku došlo k průměrnému poklesu o 0,92 mm. U šířky žloutku byla tato změna ještě výraznější, neboť se průměrný úbytek pohyboval okolo 4,2 mm. Díky těmto změnám docházelo ke změně celkového indexu žloutku, který s dobou skladování rostl a dosahoval v posledním týdnu skladování hodnoty 50,6 %. Výjimku tvoří pouze hmotnost žloutku, která se v průběhu skladování téměř neměnila.

V další části jsem se zaměřila na reologické a tokové vlastnosti žloutku sledovaných slepičích vajec, konkrétně na hustotu, smykové napětí, viskozitu a její časovou závislost. Reologické chování bylo popsáno pomocí experimentálně stanovených tokových křivek, tzn. závislosti smykového napětí  $\tau$  na smykové rychlosti  $\dot{\gamma}$ . Žloutek vykazoval newtonovské chování, kdy je viskozita přímo úměrná smykové rychlosti (rychlosti deformace). Při zvyšování smykové rychlosti docházelo ke zvyšování smykového napětí a to ve všech 8 týdnech skladování. Koeficient determinace ( $R^2$ ) použitých modelů se pohyboval v rozmezí 0,9986 – 0,9996. Toková křivka byla popsána pomocí Newtonova zákona viskozity. U viskozity žloutku docházelo k mírnému poklesu, způsobenému zvyšující se rychlostí deformace. Tento jev nastal v každém týdnu skladování a byl popsán pomocí Ostwald-de Waele modelu. Hodnoty koeficientu determinace ( $R^2$ ) se pohybovaly v rozmezí 0,8450 – 0,9220. V poslední řadě byl proveden výzkum pravděpodobné časové závislosti viskozity vaječného žloutku. Tento experiment proběhl při konstantní rychlosti deformace  $10 \text{ s}^{-1}$ , po dobu 5 minut. Hodnoty měření byly zaznamenány po každých 5 s. Dohromady se tak získalo 60 naměřených hodnot pro každý týden skladování. Ukázalo se, že u žloutku slepičích vajec

docházelo ke změně viskozity, která pro různé doby skladování klesá s časem. Tento experiment tak prokázal, že žloutky vykazují tzv. tixotropní chování, které bylo zjištěno ve všech týdnech skladování.

Souhrnně můžeme tedy říct, že jsou reologické vlastnosti žloutku slepičích vajec velmi citlivé na dobu skladování. Tento poznatek je nezbytně důležitý pro celou potravinářskou praxi.

## 7 SEZNAM LITERATURY A ZDROJŮ

ADEBOWALE, A. Food rheology [online]. 2011 [cit. 2015-12-10]. Dostupné na: <[http://www.unaab.edu.ng/attachments/455\\_FST%20310%20%20lecture%20note-DR%20ADEBOWALE.pdf](http://www.unaab.edu.ng/attachments/455_FST%20310%20%20lecture%20note-DR%20ADEBOWALE.pdf)>.

ADKERSON, T. *A Review of Egg Color in Chickens* [online]. 2011 [cit. 2016-02-20]. Dostupné na: <<http://www.maranschickenclubusa.com/files/eggreview.pdf>>.

AKTER, Y. Effect of storage time and temperature on the quality characteristics of chicken eggs. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2014, 12, s. 87-92.

AKYUREK, H. Effect of Storage Time, Temperature and Hen Age on Egg Quality in Free-Range Layer Hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2009, 8, s. 1953-1958.

ALAMPRESE, C., IAMETTI, S., ROSSI, M. a BERGONZI, D. Role of pasteurisation heat treatments on rheological and structural protein structural characteristics of fresh egg pasta, *Eur Food Res Technol*. 2005, 221, s. 759-767.

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.

BARNES, H., A, HUTTON, J. a WALTERS, K. *An introduction to rheology*. New York: Distributors for the U.S. and Canada, Elsevier Science Pub. Co., 1989. Rheology series, 3. ISBN 0444871403.

BELL D. D., WEAVER, D. W. a NORTH, O. M. *Commercial chicken meat and egg production*. 5th ed. Norwell, Mass.: Kluwer Academic Publishers, 2002, xlviii, 1365 s. ISBN 07-923-7200-x.

BOHÁČKOVÁ, B. *Vejce*. 1. vyd. Praha: Sdružení českých spotřebitelů pro Českou technologickou platformu pro potraviny, 2014, 15 s. ISBN 978-80-905096-9-6.

BRADLEY, A. F. a KING, J. A. *The Regents of the University of California*. [online] 2004. [cit. 2015-10-25]. Egg basics for the customer: packaging, storage and nutritional information. Dostupné na: <<http://ucfoodsafety.ucdavis.edu/files/26416.pdf>>.

BRANWELL, L. *DSM BRIGHT SCIENCE, BRIGHTER LIVING*. [online]. 2014 [2016-03-17]. DSM Guidelines for egg yolk pigmentation with CAROPHYLL. Dostupné na: <[https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en\\_US/documents/Carophyll-Guidelines2014\\_Web.pdf](https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en_US/documents/Carophyll-Guidelines2014_Web.pdf)>.

BUCHAR, J., 1990: *Fyzika I*, 1. vyd., Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno, 198 s.

BUCHLOVÁ, E. *Tržní informační systém České republiky*. [online] 2015 [cit. 2015-10-25]. Zpráva o trhu vajec. Dostupné na: <<http://www.szif.cz/cs/zpravy-o-trhu?year=2015&cdr=07&ino=0>>.

BUTCHER, G. *IFAS Extension, University of Florida*. [online]. 2015 [cit. 2015-12-12]. Concepts of Eggshell Quality. Dostupné na: <<http://edis.ifas.ufl.edu/vm013>>.

CARDINAELSA, R. *InsideFood Symposium*. [online]. 2013 [cit. 2015-12-25]. A rheological characterisation of liquid egg albumen. Dostupné na: <[http://www.inside-food.eu/INSIDEFOOD\\_WEB/UK/WORD/proceedings/087P.pdf](http://www.inside-food.eu/INSIDEFOOD_WEB/UK/WORD/proceedings/087P.pdf)>.

CEMPÍRKOVÁ, R., HEJLOVÁ, Š. a LUKÁŠOVÁ, J. *Mikrobiologie potravin. 1. vyd.* České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1997, 165 s. ISBN 80-7040-254-7.

ČSN 56 9603: Pravidla správné hygienické a výrobní praxe, *Vejce a vaječné výrobky*, 2006, 44s.

ČSN 57 2301: Vaječné výrobky, *Vaječná hmota*, 1992, 20s.

DANĚHEL, R. *Technologie třídění vajec*, bakalářská práce. MZLU, 2009, 55 s.

DONG-UN, L., VOLKER, H. a KNORR, D. Evaluation of Processing Criteria for the High Pressure Treatment of Liquid Whole Egg: Rheological Study, *Lebensm.-Wiss. u. – Technol.* 1999, 32, s. 299 – 304.

DOSTÁLOVÁ, J. *Fórum zdravé výživy* [online]. 2015 [cit. 2015-10-20]. Vejce. Dostupné na: <<http://www.fzv.cz/vejce-jist-ci-nejist/>>.

ELKIN R.G., FUROMOKO E.J. a THOMAS C.R. Assessment of egg nutrient compositional changes and residue in eggs, tissues and excreta following oral administration of atorvastatin to laying hens. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 2003, (61) 2, s. 3473 - 3481.

GAVRIL, R. a Usturoi, M. G. Effects of temperature and storage time on hen eggs quality. *Lucrări Științifice*, 2011, 56, s. 259 – 264.

GONZÁLEZ-ESQUERRA, R. a LEESON, S. Effect of Feeding Hens Regular or Deodorized Menhaden Oil on Production Parameters, Yolk Fatty Acid Profile, and Sensory Quality of Eggs. *Poultry Science*, 2000, 79, s. 1597-1602.

GUNSTONE, F, HARWOOD, L. J. a DIJKSTRA, J. A. *The lipid handbook with CD-ROM*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, c2007, xiii, 656 s. ISBN 08-493-9688-3.

HATTA, H., TSUDA, K., AKACHI, S., KIM, M. a YAMAMOTO T. Productivity and some properties of egg yolk antibody (IgY) against human rotavirus compared with rabbit IgG. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 1993, 57, s. 450-454.

HEJLOVÁ, Š. *Hygiena a technologie vajec a vaječných výrobků*. 1. vyd. Újezd u Brna: Ivan Straka, 2001, 72 s. ISBN 80-902775-8-6.

HUNTON, P. Research on eggshell structure and quality: An historical overview. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2005, 7 (2), s. 67 – 71.

IBRAHIM, HR. Insight into the structure-function relationships of ovalbumin, ovotransferrin, and lysozyme. *Hen Eggs: Their basic and applied science*. New York: CRC press, Inc. 1997.

JANALÍK, J. *Viskozita tekutin a její měření*. VŠBTU, fakulta strojní Ostrava. [online]. 2010 [cit. 2016-03-12]. Dostupný na: <<http://www.338.vsb.cz/PDF/TEXTviskozitaPDF.pdf>>.

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.

KERVER JM, PARK Y a SONG WO. The role of eggs in American diets: health implications and benefits. In: Watson R., editor. *Eggs and health promotion*. Iowa: Blackwell Publishing Co. 2002, s. 9-18.

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.

KOMPRDA, T. *Legislativa a kontrola potravin*. 1.vyd. Brno: MZLU, 1999. ISBN 80-7157-360-4.

KŘIVÁNKOVÁ. Pravidla správné hygienické/výrobní praxe pro zpracovatele vajec, [online]. 2004 [cit. 2016-03-14]. Dostupný na: <<http://eagri.cz/public/web/mze/potravin/aktualni-temata/hygienicky-balicek/spravna-hygienicka-praxe/pravidla-spravne-a-vyrobní-higienicke.html>>.

KŘÍŽ, L. *Zpracování a ošetření drůbežích produktů*. 1. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1997, 29 s. ISBN 80-7105-160-8.

KUMBÁR, V., STRNKOVÁ, J., NEDOMOVÁ, Š. a BUCHAR, J. Fluid dynamics of liquid egg products. *Journal of Biological Physics*. 2015, 41(3), s. 303-311.

KUMBÁR, V. *Reologický profil motorového oleje používaného ve čtyřdobých pístových motorech*, disertační práce, MENDELU, 2013, 162 s.

LAWSON, C. *Eggs and Egg Products*, [on-line]. 2008 [cit. 2015-11-18]. Dostupný na: <<http://www.gcca.org/wp-content/uploads/2012/09/Eggs.pdf>>.

LAZAR, V. *Chov drůbeže*. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1990, 210 s. ISBN 55-923a-90

LEDVINKA, Z., ZITA, L., HUBENÝ, M. a KLESALOVÁ, L. Faktory vnitřní povahy ovlivňující barvu vaječné skořápky. *Náš chov*, 2007, 8, s. 45-48. ISSN 0027-8068.

MANN, J. *Essentials of human nutrition*. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press, c2007, xxii, 599 s. ISBN 978-019-9290-970.

MATERNA, T. Zpráva o trhu vajec. *TIS ČR*. 2015; 18 (5), s. 1 – 14.

Merci, 2013: *Hustoměr densito 30 PX*. Databáze online [cit. 2016-17-03]. Dostupné na: <<http://eshop.merci.cz/detail40740/hustomer-prenosny-densito-30px>>.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ: *Pravidla správné hygienické/ výrobní praxe pro producenty a distributory vajec při nákupu, třídění, balení a distribuci vajec*, [on-line]. 2004 [cit. 2015-10-23]. Dostupný na: <[www.mze.cz](http://www.mze.cz)>.

MÍKOVÁ, K. Jakost vajec. *Maso-Lahůdka*, 2002, 13 (3), s. 1 – 2.

MITSOULIS, E. Flows of viscoplastic materials: models and computations. *Rheology Reviews*. London: The British Society of Rheology, 2007, s. 135 – 178. ISBN 978-0954741464.

MORRISON, F. A. *Understanding rheology*. New York: Oxford University Press, 2001. Topics in chemical engineering (Oxford University Press). ISBN 0195141660.

MOROS, J. E., FRANCO, J.M. a GALLEGOS, C. Rheological properties of cholesterol reduced, yolk stabilized mayonnaise. *Journal of the American Oil Chemist's Society*. 2002, 79 (8), s. 837 – 843.

MUNOZ, J., HUDSON, N. a VELEZ, G.: Rheological behaviour of spray-dried egg yolk/xanthan gum aqueous dispersions, *Rheol Acta*. 2001, 40, s. 162 – 175.

NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 557/2007 ze dne 23. května 2007, kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařízení Rady (ES) č. 1028/2006 o obchodních normách pro vejce. In: *ASPI* [právní informační systém]. Praha: Wolters Kluwer ČR [vid. 2015-11-01].

NEDOMA J. Equations of magnetodynamics of incompressible thermo-bingham's fluid under the gravity effect. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 1995, 59 (1), s. 109 – 128.

NEDOMOVÁ, Š. *Zpracování zemědělských produktů*. [online]. 2015 [cit. 2015-11-25]. Výroba vaječných hmot. Dostupné na: <[https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/stranka.php?kod=4867](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/stranka.php?kod=4867)>.

NEDOMOVÁ, Š. Vznik a vývoj slepičího vejce. *Potravinářská revue*. 2007. č. 1, s. 72-73. ISSN 1801-9102.

NISHIYAMA, Y. *The Mathematics of Egg Shape* [online]. 2010 [cit. 2015-12-20]. Dostupné na: <<http://www.osaka-ue.ac.jp/zemi/nishiyama/math2010/egg.pdf>>.

NYS, Y., BAIN, M. a IMMERSEEL, V. F. *Improving the safety and quality of eggs and egg products*. Oxford: Woodhead Pub., 2011, 2 v. (xxxvii, 602, xxxiii, 408 p.). Woodhead Publishing in food science, technology, and nutrition, no. 213-214. ISBN 08570907202.



PARKINSON T. L. The chemical composition of eggs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2006, 15 (3), s. 101 – 111.

PIRKL S. *Základy reologie a reometrie kapalin* [online]. 2011 [cit. 2015-10-07]. Dostupné na: <<http://kf.upce.cz/Reologie%20a%20reometrie%20kapalin.doc>>.

POSPÍŠILOVÁ, M. *Pasterace vajec ve skořápce* [online]. 2007 [cit. 2015-12-12]. Dostupné na: <<http://www.bezpecnostpotravin.cz/Index.aspx?ch=548&typ=1&val=67129&ids=3475>>.

ROLENEC, V.: *Technologické vlastnosti vajec a vaječných hmot*, diplomová práce, MENDELU, 2011, 81 s.

ROUBALOVÁ, M.: *Situační a výhledové zprávy* [online]. 2013 [cit. 2015-10-25]. Dostupné na: <<http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/publikace-a-dokumenty/situacni-a-vyhledove-zpravy/zivocisne-komodity-hospodarska-zvirata/drubez-a-vejce/>>.

SALÁKOVÁ, A. *Hygiena a technologie drůbeže, vajec a zvěřiny*. Vyd. 1. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014, 80 s. ISBN 978-80-7305-720-6.

SALÁKOVÁ, A.: *Jak by mělo vypadat kvalitní vejce* [online]. 2013 [cit. 2015-10-25]. Dostupné na: <<http://www.vfu.cz/inovace-bc-a-navmgr/pub-files/realizovane-klicove-aktivity/ls-2012-2013/h4tz2/index/h4tz2-vejce-ii-ls-12-13.pdf>>.

SAMLI, H. E., A. AGMA a N. SENKOYLU. Effects of Storage Time and Temperature on Egg Quality in Old Laying Hens. *The Journal of Applied Poultry Research* [online]. 2005, 14(3), s. 548 – 553 [cit. 2016-03-16]. Dostupné na: <<http://japr.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/japr/14.3.548>>.

SATO, Y., K. WATANABE a T. TAKAHASHI. Lipids in Egg White. *Poultry Science*. 1973, 52(4), s. 1564 – 1570. DOI: 10.3382/ps.0521564. ISSN 0032-5791. Dostupné na: <<http://ps.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.3382/ps.0521564>>.

SCOTT, T. A. a F. G. SILVERSIDES. The effect of storage and strain of hen on egg quality. *Poultry Science* [online]. 2000, 79(12), s. 1725 – 1729 [cit. 2016-03-16]. Dostupné na: <<http://ps.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/ps/79.12.1725>>.

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., BUCHAR, J. a SIMEONOVÁ, J. Hen`s egg fluids viscosity changes as a function of storing. [CD-ROM]. In Sborník příspěvků XXXV. *Semináře o jakosti potravin a potravinových surovin - "Ingrový dny"*. 2009, s. 235 – 239. ISBN 978-80-7375-281-1.

SEVERA L. *Tixotropní chování vybraných druhů potravin*. Habilitační práce, MZLU v Brně, 2008, 113 s.

SEVERA, L., SIMEONOVÁ, J., NEDOMOVÁ, Š., KŘIVÁNEK, I., a BUCHAR, J. Vliv délky a teploty skladování na reologické chování vaječných žloutků. *Sborník souhrnů sdělení XXXIV. Semináře o jakosti potravin a potravinových surovin*. 1. vyd. MZLU v Brně: Ediční středisko, 2008, 27 s. ISBN 978-80-7375-157-9.

SEVERA, L., NEDOMOVÁ, Š., KŘIVÁNEK, I. a BUCHAR, J. Rheological properties of ageing egg yolk. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2005, LIII (4), s. 127 – 138. ISSN 1211-8516.

SINGH, J. Effect of storage conditions of egg on rheological properties of liquid whole egg. *Journal Food Scientists and Technologists*. 2014, 51(3), s. 543 – 550. DOI: 0.1007/s13197-011-0509-7

SIM, J. I. *Egg nutrition and biotechnology*. New York, NY, USA: CABI Pub., 2000, 495 s. ISBN 0851993303.

SIMEONOVÁ, J. *Technologie drůbeže, vajec a minoritních živočišných produktů*. Vyd. 2. nezměněné. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 241 s. ISBN 978-80-7375-891-2.

SIMEONOVÁ, J., GAJDŮŠEK, S. a INGR, I. *Zpracování a zbožížnalství živočišných produktů*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 122 s. ISBN 80-7157-708-1.

STEFFE, J. *Rheological methods in food process engineering*. East Lansing, MI, USA: Freeman Press, 1996. 418 s. ISBN 978-0-9632-0361-8.

STEINHAUSEROVÁ, I. *Produkce a zpracování drůbeže, vajec a medu*. Vyd. 1. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 2003, 82 s. ISBN 80-7305-462-0.

STRNKOVÁ, J. *Vliv doby skladování na vybrané fyzikální vlastnosti vajec*, disertační práce, MENDELU, 2015, 171 s.

SUGINO H, NITODA T a JUNEJA LR. General chemical composition of hen eggs. In: Yamamoto T, Juneja LR, Hatta H, Kim M, editors. *Hen eggs: Their basic and applied science*. Boca Raton: CRC Press. 1997, s. 13 – 24.

ŠPAČEK, F., GROM, A., ROUS, J., KUKLA, F., SKŘIVAN, M., JIRÁSEK, J., KÁLAL, L., KRUPAUER, V., SEDLÁR, J. *Speciální chov hospodářských zvířat – 2*, 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1980. 600 s.

TELIS-ROMERO, J., THOMAZ, P. E. C., BERNARDI, M., TELIS N. R. V a GABAS, L. A. Rheological properties and fluid dynamics of egg yolk. *Journal of Food Engineering*. 2006, 74(2), s. 191 – 197. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.044. ISSN 02608774. Dostupné na: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877405001342>>.

THARRINGTON, J. B., CURTIS, P. A. a ANDERSON, K. E. The relationship of egg shape to shell strength. *Poultry Science*, 2000, roč. 79, 59 s.

TROJANOVÁ, J. *Změny vlastností vajec v průběhu snášky*. Bakalářská práce na MZLU v Brně, 2004, 58 s.

VÁCLAVOVSKÝ, J. *Chov drůbeže*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2000, 150 s. ISBN 80-7040-446-9.

VEČEŘOVÁ, A. *Faktory ovlivňující technologické vlastnosti vajec*, diplomová práce, MENDELU, 2010, 94 s.

## **8 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ**

### **8.1 Seznam tabulek**

Tabulka 1: Spotřeba slepičích vajec vztažená na obyvatele za rok dle oboru živočišných komodit MZe ČR.....	15
Tabulka 2: Chemické složení vejce vztažené na jedno syrové vejce o hmotnosti 45 g, bez skořápky.....	25
Tabulka 3: Hmotnostní rozdělení slepičích vajec.....	26
Tabulka 4: Požadavky pro jednotlivé třídy jakosti.....	31
Tabulka 5: Doporučené pasterační režimy.....	36
Tabulka 6: Kvalitativní požadavky na vaječné výrobky.....	37
Tabulka 7: Kvalitativní požadavky na vaječné výrobky sušené.....	39
Tabulka 8: Základní statistické charakteristiky hmotnosti sledovaných vajec.....	54
Tabulka 9: Průměrný úbytek hmotnosti [%] slepičích vajec v průběhu skladování.....	55
Tabulka 10: Statistická průkaznost změn úbytku hmotnosti [%] slepičích vajec v průběhu skladování.....	55
Tabulka 11: Základní statistické charakteristiky barvy žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování.....	57
Tabulka 12: Statistická průkaznost rozdílu barvy žloutku v průběhu skladování.....	58
Tabulka 13: Základní statistické charakteristiky výšky žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování.....	59
Tabulka 14: Statistická průkaznost změny výšky žloutku slepičích vajec v průběhu skladování.....	59

Tabulka 15: Základní statistické charakteristiky šířky žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování .....	61
Tabulka 16: Statistická průkaznost změny šířky žloutku slepičích vajec v průběhu skladování .....	61
Tabulka 17: Základní statistické charakteristiky hmotnosti žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování .....	62
Tabulka 18: Statistická průkaznost změny hmotnosti žloutku slepičích vajec v průběhu skladování .....	63
Tabulka 19: Základní statistické charakteristiky indexu žloutku sledovaných vajec v průběhu skladování .....	64
Tabulka 20: Statistická průkaznost změny indexu žloutku slepičích vajec v průběhu skladování .....	65
Tabulka 21: Parametry vaječného žloutku získané pomocí lineárního proložení získaných hodnot .....	68
Tabulka 22: Statistická průkaznost změn viskozity žloutku slepičích vajec v průběhu skladování .....	68
Tabulka 23: Hodnoty koeficientů mocninné funkce v jednotlivých týdnech skladování .....	70
Tabulka 24: Statistická průkaznost změn viskozity žloutku slepičích vajec v průběhu skladování .....	71
Tabulka 25: Statistická průkaznost změn viskozity žloutku slepičích vajec v průběhu skladování .....	72

## 8.2 Seznam obrázků

Obrázek 1: Zastoupení vybraných zemí v dovozu a vývozu vajec ve skořápce v listopadu 2015 .....	16
Obrázek 2: Morfologie slepičího vejce.....	20
Obrázek 3: Toková a viskozitní křivka newtonovských kapalin.....	42
Obrázek 4: Reogramy a zdánlivá viskozita vybraných ne-newtonovských kapalin .....	43
Obrázek 5: 15-bodová stupnice La Roche .....	47
Obrázek 6: Hustoměr Densito 30 PX .....	49
Obrázek 7: Rotační viskozimetr Anton Paar DV3-P.....	50

Obrázek 8: Grafické znázornění týdenního vývoje průměrných hmotností sledovaných vajec .....	53
Obrázek 9: Grafické znázornění vývoje průměrného úbytku hmotnosti vajec v průběhu skladování .....	54
Obrázek 10: Grafické znázornění průměrného indexu tvaru sledovaných slepičích vajec, který je nezávislý na délce skladování.....	56
Obrázek 11: Grafické znázornění závislosti průměrné výšky žloutku slepičích vajec na délce skladování.....	58
Obrázek 12: Změna šířky žloutku v průběhu skladování u sledovaných vajec.....	60
Obrázek 13: Grafické znázornění vývoje hmotnosti žloutku v průběhu skladování .....	62
Obrázek 14: Závislost změny indexu žloutku na délce skladování u sledovaných vajec .....	64
Obrázek 15: Grafické znázornění změn hustoty žloutku sledovaných slepičích vajec v průběhu skladování .....	65
Obrázek 16: Závislost smykového napětí na smykové rychlosti pro žloutek sledovaných slepičích vajec.....	67
Obrázek 17: Vliv doby skladování na tokové vlastnosti žloutku slepičích vajec.....	67
Obrázek 18: Vliv smykové rychlosti na zdánlivou viskozitu žloutku sledovaných vajec .....	69
Obrázek 19: Vliv doby skladování na tokové vlastnosti žloutku slepičích vajec.....	70
Obrázek 20: Grafické znázornění časové závislosti chování žloutku při konstantní rychlosti deformace v průběhu 8. týdnů skladování .....	71