

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**In vitro stanovení stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu  
zrna pšenice upraveného extruzí**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Jana Bártíková**

**Obor studia: Výživa zvířat a dietetika**

**Vedoucí práce: Ing. Vladimír Plachý, Ph.D.**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "In vitro stavení stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu zrna upraveného extruzí" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4. 2019

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Vladimírovi Plachému, Ph.D. za vedení, výpomoc a cenné rady při psaní diplomové práce, mé rodině a všem blízkým za pevné nervy a psychickou podporu v průběhu celého mého studia na univerzitě.

# In vitro stanovení stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu zrna pšenice upraveného extruzí

## Souhrn

Pšenice je velmi významnou a důležitou zemědělskou plodinou nejen pro lidskou výživu, ale také v oblasti výživy zvířat, zejména drůbeže. V současnosti již existuje několik odrůd a vlastností pšenice, u kterých však převážně zůstává nutriční potenciál neznámý. Většina technologických parametrů určených pro kultivary pšenice se totiž nezaobírá požadavky na výkrm drůbeže, nýbrž vlastnostmi definovanými pro lidské využití.

Z tohoto důvodu je potřebné neustále objevovat a vyvíjet nové technologie a analýzy k zajištění potřebných parametrů a hodnot využitelných ke zdokonalení výživy zvířat.

U výživy kuřecích brojlerů je podstatná především dostatečná stravitelnost živin k zajištění maximální produkce a minimální konverze krmiva. Ke zvýšení stravitelnosti se využívají různé technologie, mezi které se řadí i tepelná úprava pomocí extruze. Extruze je založena na vysoké teplotě a tlaku, který zajistí lepší přístupnost enzymů k potřebným živinám a sníží obsah případných antinutričních či nežádoucích látek.

V diplomové práci bylo cílem na základě analýzy *in vitro* zjištění stravitelnosti škrobu a dusíkatých látek u vybraných odrůd pšenice, které buď byly, nebo nebyly upraveny extruzí.

Výsledné hodnoty ukázaly, že statisticky významný rozdíl byl zjištěn u stravitelnosti škrobu, kde byla prokázána vyšší stravitelnost u extrudovaných odrůd pšenice, zároveň v závislosti na jakosti odrůdy. U stravitelnosti dusíkatých látek však tato hypotéza potvrzena nebyla.

Analýzou bylo zjištěno, že tepelná úprava krmiv a výběr vhodných druhů pšenice může zaručit lepší stravitelnost určitých živin, minimalizovat výskyt antinutričních a nežádoucích látek, což má ve výsledku pozitivní vliv na celkovou ekonomiku chovu.

**Klíčová slova:** stravitelnost *in vitro*, pšenice, protein, škrob

# **In vitro determination of digestibility crude protein and starch in extruded wheat grain**

## **Summary**

Wheat is a very important agricultural crop not only for human nutrition but also for animal nutrition, especially poultry. There are several varieties and properties, but the predominantly nutritional potential remains unknown. The most of the technological parameters for wheat cultivars do not address the requirements for fattening poultry but rather the properties defined for human use.

For this reason, it is necessary to constantly discover and develop new technologies and analyzes to provide the required parameters and values to improve animal nutrition.

In particular, sufficient digestibility of nutrients to ensure maximum production and minimum feed conversion is essential for chicken broiler nutrition. Various technologies are used to increase digestibility, including heat treatment by extrusion. Extrusion is based on high temperature and pressure, which ensures better accessibility of enzymes to the necessary nutrients and reduces the content of possible antinutritional or undesirable substances.

The aim of the thesis was to evaluate the digestibility of starch based on *in vitro* analysis and crude protein for selected different varieties of wheat that have been either extruded or not.

The resulting values showed that a statistically significant difference was found in the digestibility of starch, where higher digestibility was observed in extruded wheat varieties, depending on the quality of the variety. However, this hypothesis was not confirmed in the digestibility of nitrogenous substances.

The analysis revealed that the heat treatment of feed and the selection of suitable wheat species can guarantee better digestibility of certain nutrients, minimize the occurrence of antinutritional and undesirable substances, resulting in a positive effect on the overall farming economy.

**Keywords:** in vitro digestibility, wheat, protein, starch

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a hypotéza.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Pšenice .....</b>	<b>13</b>
3.1.1	Charakteristika .....	13
3.1.2	Pěstování.....	13
3.1.3	Rozdělení.....	14
3.1.4	Živiny .....	15
3.1.4.1	Sacharidy .....	17
3.1.4.2	Bílkoviny .....	19
3.1.4.3	Vitamíny .....	19
3.1.4.4	Minerální látky.....	19
3.1.4.5	Tuky .....	20
3.1.5	Antinutriční a nežádoucí látky .....	20
3.1.5.1	Vláknina .....	20
3.1.5.2	Lignin .....	21
3.1.5.3	Kyselina fytová .....	21
3.1.5.4	Mykotoxiny.....	22
<b>3.2</b>	<b>Drůbež .....</b>	<b>23</b>
3.2.1	Kuřecí brojeři.....	23
3.2.2	Příjem a trávení krmiva .....	24
3.2.3	Výživa a výkrm.....	26
3.2.3.1	Faktory ovlivňující výkrm .....	27
3.2.4	Potřeba živin a energie .....	28
3.2.4.1	Sacharidy .....	30
3.2.4.2	Dusíkaté látky .....	30
3.2.4.3	Tuky .....	34
3.2.4.4	Vitamíny.....	34
3.2.4.5	Minerální látky.....	34
<b>3.3</b>	<b>Metoda in vitro .....</b>	<b>36</b>
3.3.1	Charakteristika .....	36
3.3.2	Výhody .....	37
3.3.3	Nevýhody.....	38
<b>3.4</b>	<b>Extruze.....</b>	<b>39</b>
3.4.1	Charakteristika .....	39

3.4.2	Princip .....	39
3.4.3	Vliv na živiny.....	40
3.4.3.1	Sacharidy .....	40
3.4.3.2	Bílkoviny .....	40
3.4.3.3	Tuky .....	41
3.4.3.4	Vitamíny a minerální látky .....	41
3.4.4	Výhody .....	41
3.4.5	Nevýhody.....	42
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Stanovení sušiny .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Stanovení dusíkatých látek podle Kjeldahla .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>Stanovení škrobu .....</b>	<b>43</b>
<b>4.4</b>	<b>Stanovení stravitelnosti in vitro .....</b>	<b>44</b>
4.4.1	Dusíkaté látky .....	44
4.4.2	Škrob .....	44
<b>4.5</b>	<b>Statistické vyhodnocení.....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>Výsledky stravitelnosti škrobu a dusíkatých látek pšenice .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2</b>	<b>Analýza rozptylu .....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>58</b>

# 1 Úvod

Pšenice je jednou z nejstarších a v současnosti velmi intenzivně pěstovaných plodin na světě. Předností je její snadná dostupnost a nízká cena, díky které je široce využívána především v oblasti potravinářství a výroby krmiv. Je vhodná pro všechny druhy zvířat a v krmných dávkách slouží jako zdroj energie a dusíkatých látek. Vlastnosti pšenice jsou neustále zdokonalovány pomocí intenzivního šlechtění nebo různých genetických modifikací, díky kterým je dosahováno lepšího výnosu, odolnosti a vhodnějších technologických parametrů.

Jednou z metod, která zajišťuje lepší vlastnosti, nejen u pšenice, je extruze. Zakládá se na principu zpracování za vysoké teploty, tlaku a následného tvarování komponentu. Díky tomu je krmivo pro zvířata stravitelnější, obsahuje minimum antinutričních látek a je vytvarováno dle požadavků zákazníka.

Při krmení drůbeže je nutné používat krmiva s co nejlepší stravitelností živin. Důvodem je neustálý tlak na dosahování co nejvyšší produkce za co nejnižší cenu. Jednou z cest jak krmivo co nejlépe upravit, je právě již zmíněná extruze. Díky této technologii je možné výrazně zlepšit, ale zároveň zhoršit stravitelnost některých živin.

Pro detekci hodnot stravitelnosti živin je používána řada metod, které se od sebe navzájem liší rychlostí a přesností stanovení. Metody *in vitro* jsou hodnoceny jako vhodný kompromis mezi přesnou, ale pomalejší metodou *in vivo* a rychlými, ale často nepřesnými chemickými a fyzikálními metodami.



## 2 Cíl práce a hypotéza

Cíl práce: Stanovení *in vitro* stravitelnosti proteinu a škrobu u zrna pšenice upraveného extruzí za různých podmínek výrobního procesu.

Hypotéza: Metody *in vitro* stravitelnosti živin mohou být použity při určení krmné kvality a parametrů extruze vhodných pro zpracování pšenice jako krmiva.

## **3 Literární rešerše**

### **3.1 Pšenice**

#### **3.1.1 Charakteristika**

Pšenice patří mezi nejdůležitější zemědělské produkty, které se používá několik stovek odrůd po celém světě. V mnoha zemích je většina pšeničných odrůd oficiálně registrována a charakterizována agronomickými, chemickými, fyzikálními a technologickými parametry. Genetická stabilita těchto parametrů je často poměrně vysoká (Turnbull & Rahman 2002). Ve většině případů však výživový potenciál každé z těchto odrůd zůstává neznámý, protože většina technologických parametrů jednotlivých odrůd pšenice se netýká krmení drůbeže, ale byla definována pro lidské využití (Svihus et al. 2000).

V krmných směsích pro kuřecí brojlery je pšenice běžně používanou surovinou. Důvod je prostý, pšenice je totiž snadno dostupné a cenově přijatelné krmivo v poměru kvalitě. Z těchto důvodů je celkem běžné využití pšenice jako jediné obiloviny ve stravě brojlerů, která mnohdy zahrnuje 55 - 65 % stravy. Pokud krmivo představuje podstatnou část výživy, je ovšem velmi důležitá přesná znalost charakteristik a efektivita využití (Carré et al. 2002).

Vzhledem k nízkému obsahu bílkovin a vysokému obsahu škrobu se pšenice používá především jako zdroj energie stejně jako například kukuřice. U brojlerů byla pšenice až do osmdesátých let často považována za běžnou složku krmiva (Kim et al. 2003). Studie však postupem času uváděly důkazy problémů s trávením u brojlerů krmených pšenicí, které se objevily na začátku osmdesátých let a následujících 25 let se stále zvyšovaly (Péron et al. 2003).

Ovšem díky následným změnám v oblasti výběru vhodnějších odrůd pšenice, tepelným ošetřením krmiva a genetické modifikaci se zvýšila efektivita využití a snížení zažívacích problémů. Z tohoto důvodu je tedy důležité se při výživě brojlerů zaměřit nejen na pěstování pšenice, ale také na výběr vhodných odrůd, správnou technologii zpracování a chov zvířat (Carré et al. 2005).

#### **3.1.2 Pěstování**

Při pěstování pšenice je produkce a kvalita do určité míry ovlivněna nejen odrůdou, ale také okolními vlivy jakými je agrotechnika, klimatické podmínky a genetické vlastnosti pšenice. Je tedy velmi důležité zvolit tu nejvhodnější odrůdu do daných klimatických

podmínek a dosáhnout tak pomocí vhodných technologií požadujícího výnosu a kvality (Cornell et al. 1994).

Klimatické podmínky jsou jedním z nevyzpytatelných, ale zásadních faktorů ovlivňující růst a výslednou kvalitu pšenice. Řadí se sem především teplota, úhrn srážek, vlhkost vzduchu a sluneční svit (Cakmak 2008).

Ideální teplota pro pěstování pšenice se v našich klimatických podmínkách pohybuje v rozmezí 18 – 20 °C, především v období metání a následného kvetení. Pokud jsou teploty vyšší a vlhkost nízká, může dojít k nižšímu výnosu a zhoršené kvalitě zrna (Carré et al. 2007).

Srážky společně s vlhkostí mají vliv na celkový obsah bílkovin v zrně a tím na výslednou jakost pšenice. V ročnících, kdy je vysoká vlhkost a nadměrné srážky jsou tyto podmínky prospěšné pro vyšší výnos, ovšem snižuje se naopak obsah dusíkatých látek a jakost pšenice (Pirgozliev et al. 2003). Naopak k vyšší tvorbě dusíkatých látek napomáhá teplé a suché počasí. Pokud jsou ovšem podmínky takové, že jsou vyšší srážky a vyšší vlhkost pouze do fáze kvetení a následně stoupá teplota vzduchu, je zaručen jak vysoký výnos, tak dobrá kvalita zrna (Šottníková & Hřivna 2006).

Světlo je pro pšenici důležité zejména na podporu tvorby zrn a hromadění sacharidů, bílkovin a dalších důležitých látek (Šottníková & Hřivna 2006).

Přestože je primárním cílem šlechtitelských a pěstitelských programů rostlin soustředit se především na vysoký výnos, tak stejně důležitou roli má stálá a dostatečná nutriční hodnota, která je stále hlavním problémem (Cakmak 2008; Cakmak et al. 2010). Nutričně vylepšené obiloviny mohou přispět nejen ke zlepšení zdraví zvířat zvýšenou dostupností živin, ale také výnosu plodin (Go'mez-Galera et al. 2010).

### **3.1.3 Rozdělení**

Pšenice je jedna z nejrozšířenějších obilovin a díky tomu existuje i mnoho odrůd, které se u nás pěstují. Každá odrůda má svou charakteristiku a vzájemně se od sebe liší požadavky na agrotechniku, způsobem pěstování nebo konečným užitkem (Sozer et al. 2014). Pšenici lze dle užitkového směru a produkce rozdělit na 4 druhy - potravinářská pšenice s pekárenskou jakostí (A), potravinářská pšenice s pečivářskou jakostí (B), pšenice pro speciální využití – škrob, líh (C) a krmná pšenice (D) (Novotný et al. 2000).

U každé registrované potravinářské odrůdy se zároveň určuje jejich pekařská jakost podle šesti parametrů – objemová výtěžnost, hodnota sedimentačního testu, číslo poklesu, obsah dusíkatých látek, vaznost mouky a hmotnost objemu (Horáková 2006).

Objemová výtěžnost je nejdůležitější kritérium, které svou mírou významu zařazuje jednotlivé pšenice do skupin pro pekárenské využití (Novotný et al. 2000). Charakteristikou sedimentačního testu je kvalita lepkové bílkoviny, která je velmi geneticky ovlivněna. Číslo poklesu slouží k odhalení poškození zásobních látek v důsledku procesu klíčení před sklizní a při nadměrné vlhkosti. Tento parametr je velmi ovlivněn odrůdou a počasím v období dozrávání a sklizně. Obsah dusíkatých látek je ovlivněn mírou hnojení a okolními podmínkami jako je například teplota, protože v teplejších oblastech je obsah dusíkatých látek vyšší. Hmotnost objemu je spojena s výtěžností mouky a ovlivňují ji pěstitelské podmínky, ročník, vlhkost, poléhavost a odrůda pšenice. Ovšem díky těmto okolním vlivům není považována za objektivní měřítko kvality. Vaznost mouky je dána celkovým obsahem bílkovin a bobtnavostí mokrého lepku, které souvisí s tvrdostí zrna. U tvrdozrnných odrůd totiž dochází k většímu mechanickému poškození škrobu a díky tomu dokáží navázat více vody než tzv měkké pšenice (Faměra 2001).

Následně jsou pšenice zařazeny do jednotlivých kategorií podle jakosti, které se značí E, A, B nebo C. První kategorií je elitní pšenice (E), která je nejlepší a ve všech parametrech měla výborné výsledky. U této skupiny pšenic je tolerován nižší výnos. Další kategorií jsou kvalitní pšenice (A), které vyhovovaly ve všech uvedených parametrech. Následuje kategorie chlebové pšenice (B), u kterých byly již nějaké z uvedených parametrů ne zcela vyhovující. Poslední kategorií (C) jsou odrůdy pšenice nevhodné pro pekárenské využití (Horáková 2006).

Největší zastoupení na zemědělských plochách má u ozimých pšenic kategorie skupiny B (chlebová jakost) a skupina A (kvalitní jakost) u jarních pšenic. Je to z důvodu vyváženosti mezi kvalitou a výnosem. U odrůd pšenice zastoupené ve skupině E (elitní jakost) je velmi obtížné vyšlechtit takovou odrůdu, proto je její zastoupení nízké i z důvodu nízkého výnosu. Pšenice ze skupiny C (nevhodné pro pekárenské využití) se využívají především pro krmné účely, ovšem jejich výnos je velmi vysoký (Zimolka 2005).

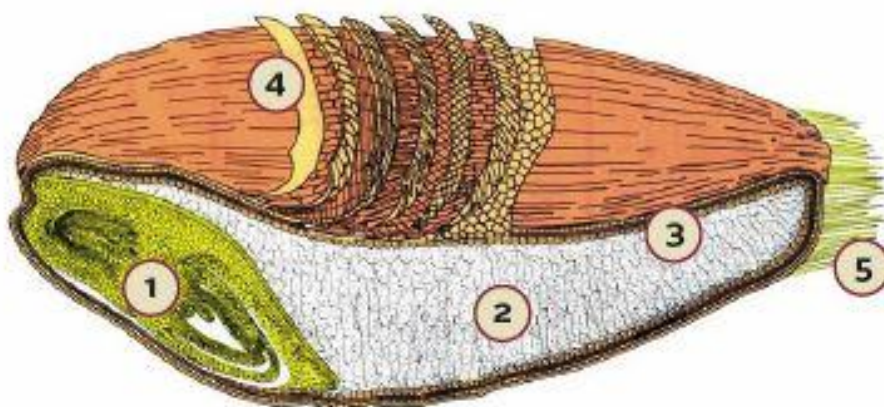
#### **3.1.4 Živiny**

Živiny jsou chemicky definovatelné látky, které zajišťují chod základních životních funkcí (Zimolka 2005). Obsah a složení živin u pšeničného zrna souvisí s hmotnostními podíly jeho jednotlivých částí. Obalové vrstvy jsou především výborným zdrojem vlákniny, stejně jako aleuronová vrstva, která je také bohatá na bílkoviny, endosperm je složen (kromě zásobních proteinů) zejména ze škrobu a zárodek je zásobárnou tuků, bílkovin, vitamínů

a minerálních látek. Celková brutto energie dosahuje u pšenice kolem 16 MJ/kg zrna (Prisenžňáková et al. 2010).

Pšenice slouží ve výživě především jako zdroj bílkovin, minerálů, vitamínů a vlákniny. Obsahuje několik pozitivních a příznivých látek jako je škrob a glutén, které poskytují teplo a energii, dále fosforečnany, minerální soli, otruby, které zajišťují peristaltiku střev, vitamíny skupiny B, E a bílkoviny (Shewry 2007). Pšenice také oproti jiným obilovinám obsahuje vyšší množství enzymu fytázy, což napomáhá lepšímu využívání živin navázaných ve fytátech (soli kyseliny fytové) (McCracken et al. 2002).

Pšeničné zrno je tvořeno obalovou vrstvou, endospermem a klíčkem (viz Obr. 1). Obalové vrstvy tvoří přibližně 8 – 15 % hmotnosti jádra a obsahují jen malé množství bílkovin. Oproti tomu mají vyšší obsah vitamínů B-komplexu a stopových minerálních prvků. Jsou výborným zdrojem vlákniny, draslíku, fosforu, hořčíku, vápníku a niacinu. Slouží rovněž jako ochrana obilky před okolními vlivy. Endosperm má největší podíl na hmotnosti jádra a obsahuje množství sacharidů ( $\frac{3}{4}$  škrob), bílkoviny, dále železo a vitamíny typu B, jako je riboflavin, niacin a thiamin (Brouns et al. 2012). Pšeničné klíčky jsou embryem pšeničného jádra a tvoří pouze 3% hmotnosti zrna pšenice, nicméně obsahují kolem 25 % bílkovin, vitamínů a minerálů. Neobsahují sodík ani cholesterol a jsou naopak bohaté na vlákninu, vitamín E, hořčík, kyselinu pantothenovou, fosfor, thiamin, niacin, měď a zinek. Jsou také výborným zdrojem koenzymu Q10 (ubichinon) a PABA (kyselina para-aminobenzoová) (Black et al. 2005).



Obilka: 1 klíček; 2 endosperm; 3 aleuronová vrstva; 4 obalové vrstvy; 5 chlupy (trichomy)

Obr. 1: Skladba pšeničného zrna (Příhoda et al. 2003)

Obsah pšeničného zrna tvoří celkově kolem 55 % sacharidů, 78 % uhlohydrátů, 15 % bílkovin, 2 % tuků, 2 % minerálů a značný podíl vitamínů a minerálů. Pšenice je také dobrým zdrojem stopových prvků jakými jsou například selen a hořečík (Zimolka 2005).

Nutriční hodnoty pšenice se liší podle obsahu živin a jejich stravitelnosti. Rozdíly v obsahu živin mohou být spojeny s typem a odrůdou pšenice nebo podmínkami okolního prostředí, které zároveň ovlivňují výslednou stravitelnost u chovaných kuřat stejně jako technologické postupy stravování a genetický původ zvířat (Turner et al. 2004).

Celkový obsah živin (škrob, bílkovina, tuky a sacharidy) má velký vliv na výsledný obsah vlákniny v pšenici, kde je rozhodujícím faktorem původ a odrůda pšenice. U bílkovin je jejich obsah ovlivněn také odrůdou pšenice, ale převážně agronomickými a klimatickými podmínkami. Z tohoto důvodu nemůže být odrůda spolehlivým ukazatelem pro kontrolu obsahu bílkovin (Hetland et al. 2004).

#### 3.1.4.1 Sacharidy

Bez ohledu na odrůdu pšenice, užitkový směr nebo systém pěstování jsou sacharidy převažující živinovou skupinou pšeničného zrna a jejich obsah se podle druhu pohybuje mezi 65 – 85 %. Jedná se o velice různorodou skupinu strukturálních a zásobních látek s kontrastní energetickou hodnotou. Využitelné sacharidy tvoří převážně jednoduché cukry, dextriny a zejména škrob, jehož obsah kolísá mezi 60 – 75 % v závislosti na odrůdě a klimatických podmínkách (Carré et al. 2002; Steinfeldt 2001).

Z jednoduchých sacharidů se v obilovinách nachází pentózy jako základní složky vysokomolekulárních pentozanů (arabinoxylany). Glukóza se v obilném zrně prakticky nevyskytuje, vzniká až případnou enzymatickou hydrolýzou škrobu (Vollmanová et al. 2018).

Součástí sacharidového komplexu jsou rovněž polysacharidy, mezi které se řadí především nejvíce zastoupený škrob. Důležité jsou také tzv. stavební polysacharidy buněčných stěn jako je celulóza, hemicelulóza a lignin, který je hlavním inhibítozem stravitelnosti živin (Šottníková & Hřivná 2006). Při sklizni pšenice je obsah těchto polysacharidů, které způsobují horší stravitelnost a tím i nižší užitkovost, vyšší. Z těchto důvodů je důležité posklizňové dozrávání, kdy po pár týdnech množství těchto polysacharidů klesá (Zelenka et al. 2007).

##### 3.1.4.1.1 Škrob

Škrob vytváří zásobní látku rostlin a ukládá se v semenech, hlízách, kořenech a plodech v podobě škrobových zrn. V obilovinách se jeho obsah pohybuje mezi 50 - 80 %

a skládá se z amylozy (15 - 25 %) a amylopektinu (75 - 85 %) (Weurding et al. 2001). Mimo tyto dva polysacharidy je možné nalézt ve škrobu také minerální látky jako je například kyselina fosforečná nebo mastné kyseliny. V obilovinách se vyskytuje i tzv. rezistentní škrob, který je odolný vůči trávicím enzymům a prochází gastrointestinálním traktem beze změny (Dhital et al. 2014).

Škrob se skládá z již zmíněných škrobových zrn, která mají různý tvar a vytvářejí dvě velikostní frakce, která se rozdělují na velká a malá zrna (Cornell et al. 1994). Velká zrna ("prima", "A") mají částice o velikosti 10 - 50 mikrometrů a obsahují vysoký podíl amylosy. Jsou snadno degradovatelná  $\alpha$ -amylasou a ke zmazovutí dochází již při nízkých teplotách. Oproti tomu malá zrna ("sekunda", "B"), která jsou menší než 10 mikrometrů, jsou pevně fixována na bílkovinnou matici, a tím snižují kvalitu lepku a využití škrobu (Petr 2001).

Stravitelnost pšeničného škrobu je u kuřecích brojlerů poněkud nepředvídatelná, což je bohužel jeden z nekontrolovatelných faktorů (Péron et al. 2005). Ačkoli je stravitelnost škrobu ve stolici téměř úplná, byly nalezeny rozdíly v míře štěpení škrobu mezi odrůdami pšenice (Oury et al. 1998). Stále však není ověřeno, zda různé agronomické podmínky ovlivňují štěpení škrobu podobným způsobem jako jejich fyzikálně-chemické vlastnosti (McCracken et al. 2002; Pirgozliev et al. 2003).

Část změn stravitelnosti pšeničného škrobu může souviset s horší přístupností škrobu na základě hrubého mletí zrn a jejich tvrdosti (Turnbull & Rahman 2002). Dalším faktorem může být rovněž zvýšený obsah bílkovin v důsledku vyššího dusíkatého hnojení, které rovněž zvyšuje hodnoty tvrdosti pšenice. Nicméně hrubé částice mohou mít naopak pozitivní vliv pro stimulaci příjmu krmiva a předcházení tak poruchám průchodnosti gastrointestinálního traktu (Oury et al. 1998).

Jedním z řešení je tedy zkrmovat jemně mletou pšenicí, která zlepšuje stravitelnost škrobu u kuřecích brojlerů. Toto zlepšení však není plně zaměřeno na zvýšení hodnot metabolizovatelné energie, protože v některých případech může jemná pšenice také snížit lipidovou nebo bílkovinnou stravitelnost (Wu et al. 2004; Hetland et al. 2004).

Nicméně i přes všechny tyto důkazy o problémech se stravitelností škrobu se ukázalo, že mechanické ošetření pšenice, jako je například jemné mletí, má velmi malý vliv na úplné štěpení škrobu a závisí především na tvrdosti pšenice a genetickém původu zvířat (Faměra 2001).

#### 3.1.4.2 Bílkoviny

Největší význam jak z nutričního, tak z krmivářského hlediska má u pšenice obsah bílkovin. Jejich obsah se pohybuje mezi 8 - 20 % a nejvíce jich je možné nalézt v klíčku nebo aleuronové vrstvě, naopak nejméně jsou zastoupeny v endospermu (Vollmanová et al. 2002). Základní stavební složkou bílkovin jsou aminokyseliny, z nichž je v pšenici nejvíce zastoupena kyselina glutamová (glutamin) a prolin, naopak nejméně je zde obsažen lysin (Shewry 2007).

Rozdělení bílkovin u pšenice je na základě rozpustnosti v různých rozpouštědlech. Dělí se do čtyř skupin – albuminy, globuliny, prolaminy a gluteliny (Zimolka 2005). Albuminy jsou rozpustné ve vodě a globuliny v roztocích soli, přičemž dohromady se označují jako bílkoviny rozpustné. Prolaminy jsou rozpustné v 70% ethanolu a gluteliny jsou zčásti rozpustné ve zředěných roztocích zásad a kyselin a společně vytváří tzv. bílkoviny lepku (Prugar 2008).

Pšenice je na obsah bílkovin velmi variabilní a jejich hodnoty kolísají především na základě genetických, agrotechnických a environmentálních vlivů (Carré et al. 2007). Jejich nízký obsah je velmi často spojován s vysokou výtěžností pšenice, a proto je předpokladem nízké ceny pšenice také velmi malý podíl bílkovin. Proto by měl být každý vzorek pšenice měřen na obsah dusíku buď chemicky, nebo pomocí spektrofotometrie (Bedford et al. 1998).

#### 3.1.4.3 Vitamíny

Další důležitou součástí pšenice jsou vitamíny. Nejvíce jsou v zrna zastoupeny především thiamin, niacin, riboflavin, kyselina pantothenová, pyridoxin, kyselina listová, biotin, tokoferol nebo provitamin A-karotenu. Většina vitamínů je obsažena v klíčku a aleuronové vrstvě, jejichž podíl při následných technologických úpravách pšenice klesá a tím je snížen obsah vitamínů někdy až o polovinu (Zimolka 2005).

#### 3.1.4.4 Minerální látky

Minerální látky se v pšenici nacházejí nejvíce v klíčku a obalových vrstvách zrna, kde se jejich obsah pohybuje v rozmezí 1,5 - 3 %. Největší vliv na obsah minerálních látek má odrůda pšenice, půdní a agronomické podmínky (Go'mez-Galera et al. 2010). Mezi významné minerální látky obsažené v pšenici patří fosfor, draslík, síra, hořčík, vápník, sodík, železo, mangan, zinek, bór, měď a mnoho dalších. Stejně jako u vitamínů, tak i u minerálních látek



platí, že čím je pšeničné zrna více technologicky upravováno, tím je podíl těchto látek ve výsledném obsahu nižší (Svihus et al. 2000).

#### 3.1.4.5 Tuky

Obsah tuků je všeobecně v obilovinách velmi nízký, u pšenice se pohybuje mezi 2 - 2,5 %, přičemž největší podíl je v klíčku. Ve zbylých částech pšeničného zrna je zastoupení pouze minimální. U tuků obilovin převládá kyselina linolová a kyselina olejová (Hřivna & Kryštof 2002). Celkově tvoří tyto nenasycené mastné kyseliny asi 80 % všech tuků v obilovinách, čímž stoupá jejich výživová hodnota. Zároveň klesá jejich stabilita při delším skladování, kdy mohou způsobovat zvyšování kyselosti nebo oxidační změny pšenice jako je např. žluknutí. Jejich obsah se odvíjí od klimatických podmínek a odrůdy pšenice (Prugar 2008).

#### 3.1.5 Antinutriční a nežádoucí látky

Antinutriční látky jsou rostlinného původu a snižují nutriční (výživovou) hodnotu krmiv, ve kterých jsou obsaženy. Jsou příčinou nižší biologické využitelnosti živin, ovšem některé z nich mohou být i prospěšné. Naopak nežádoucí látky jsou takové, které krmivo znehodnocují a mohou ohrozit i zdraví. Mezi nejvýznamnější u pšenice patří především vláknina, neškrobové polysacharidy, lignin, kyselina fytová nebo mykotoxiny (Hřivna & Kryštof 2002; Ziggers 2012).

##### 3.1.5.1 Vláknina

Vláknina je přítomna v krmivech rostlinného původu a pro zvířata je nestravitelná z důvodu nedostatku potřebných enzymů. Jediným způsobem jejího rozkladu je mikrobiální fermentace. Na druhou stranu má i mnoho pozitivních vlivů na organismus. Zajišťuje mechanické nasycení zvířat, podporuje motoriku zažívacího traktu, limituje příjem, ale negativně ovlivňuje stravitelnost krmiva (Prisenžňáková et al. 2010).

Obecně vláknina napomáhá ke zpomalení vstřebávání tuků a sacharidů, udržení zdravé váhy a slouží jako prevence proti střevním onemocněním. Pomocí mikrobiální fermentace je určitá část vlákniny, především rezistentní škroby, odbourána na těkavé mastné kyseliny (octová, propionová, máselná) (Brouns et al. 2012).

Skládá se z neškrobových polysacharidů, mezi které patří celulóza, hemicelulóza, pektiny, betaglukany, rostlinné gummy a z ligninu, který je nestravitelný (Dhital et al. 2014).

Vlákninu je možné rozdělit podle rozpustnosti ve vodě na rozpustnou a nerozpustnou. Rozpustná vláknina v trávicím traktu zvyšuje viskozitu tráveniny a zpomaluje tak průchod potravy trávicím traktem, což má vliv na zhoršený přístup enzymů k živinám a jejich následnému vstřebávání. Naopak pozitivně reguluje glykémii a snižuje cholesterol v krvi (Prisenžňáková et al. 2010; Dhital et al. 2014). Je obsažena především v mladých rostlinách ve formě hemicelulóz ( $\beta$ -glukany, arabinoxylany), rostlinných gum (glukomannany, galaktomannany), pektinů, modifikovaných škrobů a modifikované celulosy (Hetland et al. 2004).

Nerozpustná vláknina zvětšuje objem přijaté potravy a napomáhá lepšímu průchodu krmiva trávicím traktem díky lepší peristaltice. Skládá se z nerozpustných sacharidů, kterými jsou celulóza, hemicelulóza a lignin (Jiménez-Moreno et al. 2010).

### 3.1.5.2 Lignin

Lignin je polymer, který se nachází v cévách rostlin a jeho úlohou je transport vody a zpevnění buněčných stěn. Nachází se v pšeničných obalových vrstvách a je považován za složku nerozpustné vlákniny, která je v trávicím traktu nevstřebatelná (Pirgozliev et al. 2003).

### 3.1.5.3 Kyselina fytová

Jedna z neznámějších antinutričních látek pšenice je kyselina fytová, která se vyskytuje především v obilovinách a luštěninách. Společně s fytátem (sůl kyseliny fytové) jsou hlavním zásobním zdrojem fosforu v zrnech pšenice (Steenfeldt 2001). K nahromadění fytátů dochází především v klíčku a obalových vrstvách při zrání zrna, kde se jejich obsah pohybuje v rozmezí 0,5 – 2 %. Fytáty dále vytváří komplexní sůl nazývanou fytin, která je zásobní energetickou a minerální látkou. Fytin je následně pomocí enzymu fytasy štěpen na kyselinu fosforečnou a inositol (Black et al. 2005).

Kyselina fytová a fytáty omezují funkci trávicích enzymů (pepsin, trypsin) a snižují tak využitelnost živin. Ovlivňují tím tak stravitelnost bílkovin, aminokyselin, škrobu a dalších důležitých živin pro organismus. Zároveň mají schopnost se navázat na minerální a stopové prvky, což následně způsobuje deficit v organismu. Jejich negativní dopad na organismus lze omezit například aditivou obsahující minerální látky, využitím přípravků obohacených o enzymy nebo pěstováním geneticky upravených odrůd pšenice s nízkým obsahem fytátů (Prugar 2008, Vollmanová et al. 2018).

#### 3.1.5.4 Mykotoxiny

Mykotoxiny jsou sekundární metabolity mikroskopických vláknitých hub (mikromicety) a krmivo jimi může být napadeno již během vegetace nebo po sklizni vlivem špatného zpracování či skladování (Ziggers 2012).

Mykotoxiny se rozdělují na dvě skupiny podle množství a doby přijaté dávky mykotoxinů na akutní a chronické (Scudamore et al. 2008). U akutních forem dochází k intoxikaci organismu téměř ihned vlivem jednorázového vyššího příjmu mykotoxinů. U chronické formy se projevy intoxikace objevují až s časovým odstupem, kdy je organismem přijímán dlouhodobě menší obsah mykotoxinů. Účinky mykotoxinů v pozdějším stadiu mohou způsobovat imunotoxicitu, neurotoxicitu, karcinogenitu nebo mutagenitu. Výjimečně může také nastat synergický efekt vlivem příjmu více druhů mykotoxinů současně, kdy jeden mykotoxin zvyšuje toxické účinky toho druhého (Cazzaniga et al. 2001).

Mezi nejvýznamnější producenty mykotoxinů patří především plísňe rodu *Penicillium*, *Aspergillus* a *Fusarium*. *Penicillium* je hlavním producentem mykotoxinů ochratoxin (obiloviny, sušené plody, koření) a patulin (ovoce) (Ziggers 2012; Bullerman et al. 2008). *Aspergillus* produkuje jedny z nejznámějších mykotoxinů aflatoxiny (obiloviny, ořechy, koření) a plísňe rodu *Fusarium* zearalenon (obiloviny) a fumonisiny (kukuřice). Regulace mykotoxinů spočívá především v zamezení optimálních podmínek pro jejich rozvoj, které je možné ovlivnit vhodnou teplotou, vlhkostí, ale také dodržováním zemědělských a hygienických postupů. Jejich odstranění je ve většině případů velmi náročné nebo dokonce nemožné, mykotoxiny jsou totiž velmi stabilní a odolné. Některé mykotoxiny (patulin) je ovšem možné zničit nebo eliminovat tepelnou úpravou krmiva jako je například extruze (Vollmanová et al. 2018; Zeman et al. 2014).

## 3.2 Drůbež

### 3.2.1 Kuřecí brojleři

Kur domácí je obecně známý jako všežravec a ve svém přirozeném prostředí se živí zelenou pící, semeny a potravou živočišného původu (bezobratlí). Příjmem a hledáním vhodné potravy stráví více jak půl dne a vše se učí od svých rodičů. V případě intenzivního chovu je tomu ovšem jinak (Pesti et al. 2005)

Genetický potenciál výkrmu současných genotypů brojlerů se velice změnil. V roce 1975 bylo dosaženo porážkové hmotnosti 2 kg v 56 dnech při spotřebě krmiva 2,8 kg na 1 kg hmotnosti. O dvacet let později se dosáhlo hmotnosti 2 kg již ve věku 42 dní za spotřeby 2,2 kg směsi a při posledním pokusu byla doba výkrmu zkrácena až na 37 dní a spotřeba krmiva snížena na 1,8 kg směsi. Je zde tedy možné pozorovat velký posun na základě šlechtění, genetických modifikací a zdokonalení poznatků ohledně kompletace krmných směsí a potřebě živin (Zelenka 2014). Doba výkrmu kuřecích brojlerů se v průběhu čtyřiceti let výrazně zkrátila a šlechtitelům se tak podařilo zkrátit dobu výkrmu v průměru o jeden den za každý rok. Díky kratší době výkrmu tak zároveň dochází k menšímu ukládání škodlivých látek v maso než u jiných zvířat (Tupý 2015).

Drůbeží maso je jedno z cenově nejdostupnějších a dieteticky nejpříjemnějších variant z dostupné nabídky masa na trhu. Díky současným trendům a ceně spotřeba drůbežího masa za několik let výrazně vzrostla z 2 kg (1948) na dnešních průměrných 25 kg (Zelenka et al. 2007). Jeho oblíbenost vzrostla také díky nízkému obsahu pojivových tkání, rychlé tepelné úpravě a minimálnímu podílu tuku. Největší část z této celkové spotřeby drůbežího masa tvoří právě brojleři, kteří jsou vyšlechtěni na rychlý růst, minimální konverzi krmiva a maximální výslednou výtěžnost masa (Gutierrez del Alamo et al. 2008).

U brojlerových kuřat se chovatelé snaží především o rychlý výkrm v co nejkratší době, což se ovšem může promítnout do kvality masa, které může být bez chuti a projeví se u něj technologické závady. V posledních letech se tak klade větší důraz na kvalitu masa a pozvolný výkrm i přes výslednou vyšší cenu, kterou je ovšem spotřebitel většinou ochoten zaplatit. Při delším výkrmu má maso vyšší obsah živin, je chutnější a lepší konzistence (Tupý 2015; Zelenka 2014).

### 3.2.2 Příjem a trávení krmiva

U drůbeže je řízen výběr krmiva především pomocí zraku a mechanoreceptorů umístěných na horním a dolním zobáku. Jejich chuťové smysly jsou ve výběru krmiva zapojeny minimálně. Drůbež si vybírá krmiva na základě velikosti, tvaru a barvy a z tohoto důvodu je náročný přechod na jiné krmivo, protože je zde delší prodleva na navyknutí si nového krmiva (Pesti et al. 2005).

Zpracování potravy u drůbeže začíná zobákem, dále se potrava posouvá do dutiny zobákové, následuje jícen, vole, dva žaludky (žláznatý, svalnatý), tenké a tlusté střevo a končí kloakou (viz Obr. 2) (Černý 2005).

K příjmu a mechanickému zpracování krmiva dochází pomocí zobáku z důvodu absence zubů u ptáků. V dutině zobákové jsou následně produkovány sliny pomocí důležitých slinných žláz, jejichž sekret je hlenovité až mucinózní konzistence a potravu tak zvlhčuje. Tyto sliny obsahují  $\alpha$ -amylázu, která pomáhá ke štěpení škrobu na jednodušší sacharidy (Reece 2009).

Dále krmivo putuje jícnem do vole (vychlípenina jícnu), které slouží jako zásobárna krmiva při naplnění svalnatého žaludku. Potrava je zde pomocí hlenu rovněž zvlhčována a připravena tak na další chemické a mechanické trávení (Pesti et al. 2005).

Následuje žaludek, který má dva úseky. Nejdříve je krmivo zpracováno ve žláznatém žaludku, kde probíhá chemické trávení potravy pomocí kyseliny chlorovodíkové, pepsinogenu a mucinu. pH je zde kyselé a pohybuje se v rozmezí 1,5 - 2,0. Kyselina chlorovodíková zde mění pepsinogen na pepsin, který štěpí bílkoviny na peptidy a následně na aminokyseliny (Zeman et al. 2015).

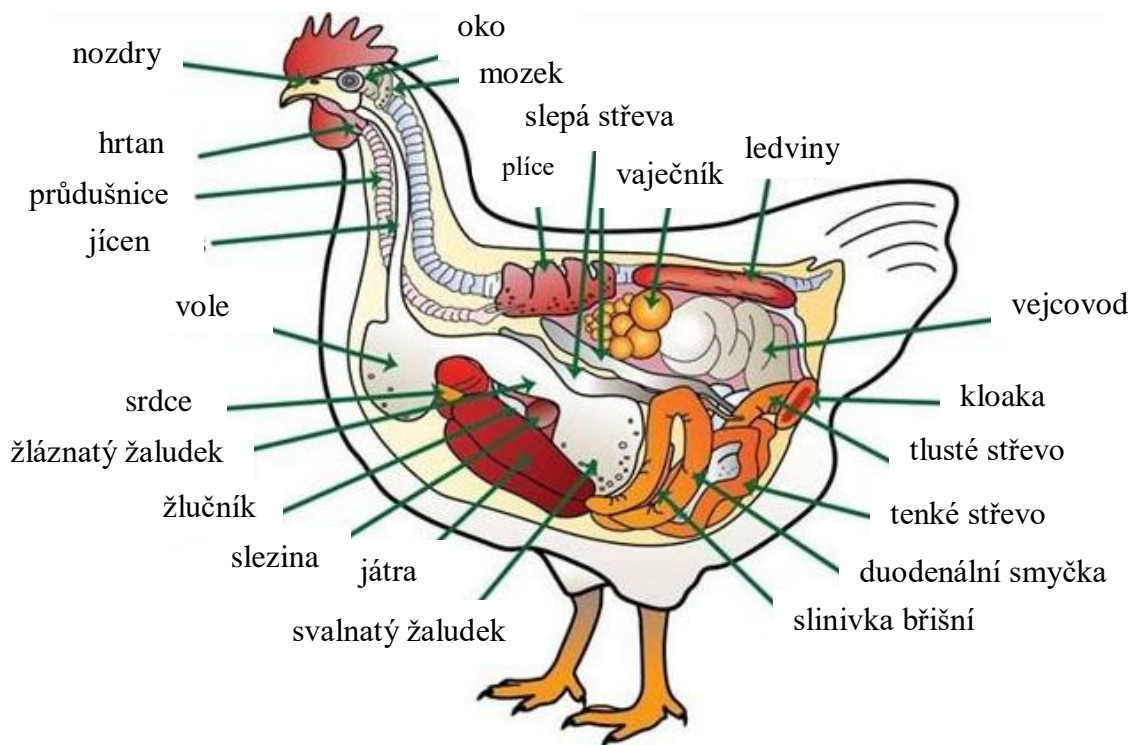
Mechanické zpracování potravy probíhá až v dalším úseku trávicího traktu, a to ve svalnatém žaludku za přítomnosti malých kamínků (tzv. gritu). Tento grit je důležitý jak pro zpracování potravy, tak pro drcení pozřené perli nebo podestýlky. Proti poškození sliznice je žaludek chráněn dostatečně pevnou kutikulou. Do svalnatého žaludku se krmivo dostává již natrávené a nabobtnalé z vole a žláznatého žaludku. V tomto žaludku zároveň dochází k trávení nejen bílkovin pomocí pepsinu ze žláznatého žaludku, ale také lipidů a sacharidů díky pankreatické šťávě a žluči z tenkého střeva, které jsou zde přítomny na základě antiperistaltických pohybů střeva (Černý 2005; Reece 2009).

Na svalnatý žaludek navazuje dvanáctník, do kterého ústí vývody jater a pankreatu. Játra produkují alkalickou žluč, která společně s hydrogenuhličitanem sodným slouží jako pufr přítomné kyseliny chlorovodíkové z žaludku. Pankreas, kromě již zmíněného

hydrogenuhličitanu sodného, produkuje také v pankreatické šťávě enzymy lipázu, amylázu, trypsinogen, chymotrypsinogen, karboxypeptidázy, cholesterolesterázu a proelastázu (Oury 1998).

V tlustém střevě drůbeže je vstřebávání živin už jen zhruba poloviční, nicméně se zde na přechodu mezi tenkým a tlustým střevem nachází dvě slepá střeva, která zajišťují mikrobiální trávení a probíhá zpětná resorpce vody z moči. Produkují se zde těkavé mastné kyseliny (octová, máselná, propionová) a vitamíny. Fermentace ve slepých střevech kuřatům zajišťuje kolem 3 - 5 % z celkové potřeby metabolizovatelné energie, u dospělců se tato hodnota pohybuje kolem 10 % (Černý 2005).

Koncovým úsekem trávicí soustavy je u drůbeže kloaka, která tvoří společný vývod pro trávicí, močovou a pohlavní soustavu (Zelenka 2014).



Obr. 2: Anatomie slepice (Černý 2005)

Odpadní látkou ptáků je trus složený z výkalů a moče, která je tvořena zejména kyselinou močovou a menším podílem močoviny. Kyselina močová je zároveň využita jako zdroj dusíku při syntéze aminokyselin ve slepých střevech (Reece 2009).

### 3.2.3 Výživa a výkrm

Ve výživě kuřecích brojlerů je důležitá především skladba krmné směsi, která je ovšem velmi úzce spojena s genetickou informací každého jedince. Kvalitní genetický základ se odráží jak v oblasti ekonomiky, tak v ceně krmné směsi či v následné aplikaci veterinárních prostředků (Carré et al. 2002). U kuřecích brojlerů probíhá pak následná selekce na základě intenzity růstu a využití krmiva. Je proto důležité zajistit dostatečné množství živin, ale také vyhovět požadavkům zákazníka na jakost a minimalizovat dopad výkrmu na životní prostředí (Maisonnier et al. 2001).

V prvních dnech vývinu kuřete po vylíhnutí je kladen největší důraz na kvalitní výživu, protože jedinec má velmi rychlý metabolismus a celkový růst. Dochází k přechodu příjmu živin ze žloutkového vaku, kde se nachází energie především ve formě tuku, na krmivo, které se zakládá na metabolismu sacharidů. Tyto dny jsou z hlediska výživy klíčové pro výsledný výkrm především z důvodu zkráceného výkrmu brojlerových kuřat. Pokud v prvním týdnu brojleři dosáhnou hmotnosti 180 - 200 g, tak je jejich růstový potenciál velmi příznivý (Tupý 2015).

Lepší a rychlejší růst je možné zajistit podáním škrobu, glukózy, oleje či bílkovin bezprostředně po vylíhnutí, další dávka krmiva se dává až po 36 hodinách. Na základě podání krmiva se nastartuje trávení a dochází k produkci pankreatických enzymů, žluči, peristaltice střev a transportu živin (Černý 2005). Pokud není umožněn příjem krmiva kuřatům do 36 hodin po vylíhnutí, je vzestup počtu enterocytů pomalejší stejně tak jako růst střev v trávicím traktu. Později se tento problém může projevit sníženou schopností vstřebat živiny, což má za následek menší růst kuřat (Reece 2009).

Prvních 10 dní jsou kuřata krmena granulovanou startérovou směsí, která nemusí být v prvních dnech dostačující pro požadovaný růst. V některých státech se proto během prvních dní podávají tzv. prestartéry, jejichž živinový obsah a energie je vyšší, což je důležité pro doplnění živin ze žloutkového vaku. Složení prestartérových směsí je na základě sacharidů, minerálních a vitamínových aditiv, enzymů, probiotik a vyššího podílu aminokyselin. Je možné je zpracovat formou extruze nebo ve tvaru granulí. Kuřata, která jsou krmena již fzpočátku těmito prestartéry, tak dosahují rychlejšího růstu a jsou celkově vyrovnanější (Gutierrez del Alamo et al. 2008).

Další důležitou součástí výživy je voda, ve které se kuřatům podávají ve vodě rozpustné vitamíny, různé mikroprvky a další aditiva, případně vakcíny a léky. Teplota

podávané vody by se měla pohybovat kolem 20 °C, v ranějším věku v rozmezí 27 - 29 °C z důvodu nedovyvinuté termoregulace (Wu et al. 2004).

Na rychlosti růstu se odráží i výsledná konverze krmiva, která dosahuje v dnešní době hodnot mezi 1,7 - 1,8 kg na 1 kilogram přírůstků. Na počátku 60. let se tyto hodnoty pohybovaly v rozmezí 4 - 5 kg a v průběhu 80. postupně klesaly až ke 2,5 kg. Předpokladem v následujících 20 letech je snaha zkrátit dobu výkrmu na 3 týdny (Zelenka 2014).

U vyšlechtěných plemen hybridů je podstatná především pevná kostra, dostatečně silné běháky, jatečná výtěžnost a konverze krmiva. Složky krmné směsi tvoří především krmiva rostlinného původu, minerální a vitamínové doplňky (Carré et al. 2002).

Hlavními zásadami pro kvalitní ekonomický chov je dodržení správných principů výživy, kdy je nutné dodržet především zdravý chov, kvalitní genetický základ, kvalitní výživu a fungující management (Gutiérrez del Alamo et al. 2008).

### 3.2.3.1 Faktory ovlivňující výkrm

Existuje několik podstatných faktorů, které ovlivňují jak příjem krmiva, tak výsledný výkrm brojlerů. Z tohoto hlediska je velmi důležité důkladně znát všechny tyto faktory a zajistit tak ideální podmínky pro chov zvířat (Tupý 2015).

Jeden z prvních velmi významných faktorů ovlivňující výslednou kvalitu výkrmu má krmení nosnic, která snášejí násadová vejce. Živiny nacházející se ve vejci jsou poté ještě několik dní po vylíhnutí nadále využívány. V embryonálním vývoji je tak pro tyto jedince důležitý především žloutek, bílek a skořápka. Žloutek slouží jako zdroj energie, bílek jako zdroj bílkovin a skořápka zajišťuje přísun vápníku (Zeman et al. 2015). Ovšem kuřatům, která mají rychlejší metabolismus, tyto živiny nemusí stačit a za krátkou dobu je vyčerpají, což vede k následnému úhynu. Tento samý efekt může nastat v pozdějším věku, kdy na nedostatek živin v krmivu jsou náchylnější především kuřata s rychlejším růstem – brojleři (Pesti et al. 2005).

Dalším faktorem, který ovlivňuje především zvyšující se konverzi krmiva je potřeba vyšší záchovné energie s rostoucím věkem, naopak se snižuje spotřeba na produkci. Stejný vliv má přírůstek, u kterého se s věkem postupně zvyšuje obsah bílkovin a tuku v masu. Z původních 3 % obsahu bílkovin se podíl může zvýšit až na 19 % ve věku dvou týdnů. Nárůst obsahu bílkovin je u samců rychlejší než u samic, nejspíše z důvodu vyššího vlivu testosteronu. Stejný nárůst je možné pozorovat u obsahu tuku (Bedford et al. 1998; Weurding et al. 2001).



Výživu kuřat ovlivňují také faktory vnějšího prostředí, mezi které patří teplota, vlhkost vzduchu, proudění vzduchu či osvětlení.

Teplota má velký vliv na kuřata v prvních dvou týdnech věku, kdy nemají dostatečně vyvinutou termoregulaci a jsou tak závislí na teplotě okolí. Pokud je okolní teplota vysoká, dochází k přehřátí organismu, snížení aktivity, zrychlenému dýchání, dehydrataci, sníženému příjmu krmiva a důsledkem je pomalejší růst. Nízké teploty mohou pak vést u kuřat až k úhynu (Sklan 2001).

Na teplotě jedinců je rovněž závislá vlhkost vzduchu, která reguluje odpařování vody a tím i ochlazování kuřat. Vlhkost vzduchu je pro kuřata ideální v rozmezí mezi 60 - 70 % a neměla by být nižší než 50 %. Následkem může být vysušení sliznice, nedostatečný příjem potravy a nižší růst. Pokud nastane stav, kdy je naopak relativní vlhkost vzduchu příliš vysoká, dochází ke zdravotním problémům a zhoršené konverzi krmiva (Niu et al. 2003).

Osvětlení je důležité jak z hlediska dobré viditelnosti krmiva pro kuřata, tak pro lepší přírůstky a konverzi krmiva. Zpočátku je důležitá vysoká intenzita osvětlení, kdy je minimální hodnota 20 luxů, avšak optimum je mezi 30 - 40 luxy v nejméně osvětlených místech. Postupem času se však intenzita osvětlení snižuje a doba svícení zkracuje, protože zkrácením doby osvětlení dochází k vyššímu vyplavování melatoninu, který způsobuje zlepšení imunity jedince, sníží se mortalita a zvyšují se přírůstky a konverze krmiva (Zeman et al. 2015; Tupý 2015).

Jedním z posledních důležitých faktorů je dostatečné proudění vzduchu v prostorách. V případě nedostatečného větrání a přísunu vzduchu hrozí respirační onemocnění tzv. ascites, které způsobuje plicní hypertenzi a hypertrofii pravé srdeční komory což může vést až k srdečnímu selhání v důsledku nahromadění tekutiny v organismu (Reece 2009).

#### **3.2.4 Potřeba živin a energie**

Aby byl výkrm kuřat efektivní, je důležité dodržovat poměr živin v krmivu. U kuřecích brojlerů je optimální úroveň živin v krmné směsi velmi důležitá, dokáží totiž velmi dobře rozpoznat obsah energie v krmivu a reagovat na něj zvýšením nebo snížením příjmu krmiva (Svihus 2001).

Pokud se jedná o nízkoenergetickou krmnou směs, kde se nesníží obsah dusíkatých látek, tak brojleři nedokáží toto množství využít a vyloučí je stejně jako u krmných aditiv. Taková krmná dávka obsahuje nízký poměr živin, která způsobí vyšší spotřebu krmiva a nadměrné ukládání tuku. V případě, kdy krmná směs obsahuje více energie, než je nutné, tak se často musí navýšit esenciální živiny v krmivu, které mohou zvířeti při nižší

krmné dávce chybět. U krmných dávek je tedy podstatné vyvážení obsahu energie a živin, které jsou pro zvíře nepostradatelné (Sklan 2001).

U všech zvířat je v krmivu podstatná přijatá energie, kterou dodávají sacharidy, tuky a z menší části i bílkoviny. U drůbeže se tato energie označuje jako bilančně metabolizovatelná energie upravená na dusíkovou rovnováhu (MEN). Její hodnoty se udávají v kilojoulech (kJ), případně megajoulech (MJ) (Wu et al. 2004). Metabolizovatelnou energii lze zjistit na základě bilančních pokusů či pomocí chemického rozboru obsahu živin. Její hodnota je nestálá a závisí na celé řadě ekonomických vstupů, nicméně její optimální úroveň lze stanovit na základě výpočtů či počítačových modelů (McCracken et al. 2002).

Zvíře se tedy snaží z krmiva přijmout tolik energie, aby pokrylo svou denní potřebu. Důležité je tedy vyvážit poměr mezi MEN a živinami v krmivu. Pokud je nízká hladina této energie, je nutné snížit rovněž živiny v krmivu, aby nedocházelo k překrmování zvířat. Naopak pokud je obsah energie v krmivu vyšší, zvýší se i koncentrace nepostradatelných živin, aby jich mělo zvíře i při nižší krmné dávce dostatek. Vyšší potřebu energie pak mají především zvířata, která se chovají při nižších teplotách a nemají omezený pohyb v prostoru (Steenfeldt 2001; McCracken et al. 2002).

Přijímané živiny by měly u kuřecích brojlerů pokrýt jak záchovnou potřebu, tak potřebné živiny pro růst a produkci. Na záchovnou potřebu je nutné přijímat především dostatek energie a nepatrné množství dusíkatých látek. Pro růst je důležité vyvážené množství přijaté energie a dusíkatých látek. (tabulka amk). U moderních vyšlechtěných brojlerů se v současnosti využívají krmné směsi s vysokou koncentrací živin pro dosažení požadovaných přírůstků (Larbier & Leclercq 1994).

U záchovné potřeby je důležité sledovat faktory, které ji zásadně ovlivňují. Jedná se především o složení a velikost částic krmiva, teplotu, vlhkost, počet krmítek, napáječek a další. V případě, že tyto zásady nebudou dodrženy, může docházet k využití živin z krmiva pouze na záchovnou potřebu a tím ke snížení užitkovosti a zvýšení nákladů (Zeman et al. 2015).

Velký vliv mají rovněž okolní faktory jako je například teplota, malé prostory, nevhodné krmivo, hluk nebo stres (Zeman et al. 2015). Pokud tyto faktory negativně ovlivňují potřebu pro záchovu, vyžaduje pak zvíře více energie na záchovnou potřebu a tím zbývá méně energie na produkci, což je pro chovatele nežádoucí (Maisonnier et al. 2001).

S věkem se zároveň klade vyšší důraz na poměr živin z důvodu postupného zvyšování podílu tuku na přírůstku. U mláďat v prvních dnech přírůstku narůstá především bílkovina a v minimálním množství pak tuk, u starších jedinců je přírůstek opačný (Pesti et al. 2005).

Jedním z rozhodujících faktorů při příjmu krmiva je u kuřecích brojlerů velikost a konzistence částic, které mají podíl především na růstu a spotřebě krmiva. Pokud je brojlerům podáváno krmivo, které má malé částice, tak využitelnost živin klesá a může docházet k atrofii svalnatého žaludku. Naopak pokud jsou částice větší velikosti, je rozklad částic zpomalen a tím se zvýší i využitelnost. Hrubší krmiva zároveň snižují ztrátu vody a mají pozitivní vliv na stravitelnost dusíkatých látek (Jiménez-Moreno et al. 2010).

#### 3.2.4.1 Sacharidy

Hlavním energetickým zdrojem pro drůbež je především obsah sacharidů v krmivu. Jsou důležité pro využití potřebných živin a zároveň ovlivňují výslednou spotřebu krmiva (Zelenka 2014). Ovšem pokud jich je drůbeži podáváno více, než je potřebné, ukládají se nevyužité sacharidy v organismu v podobě rezervního tuku, což je u výkrmu brojlerů nežádoucí (Black et al. 2005).

Jsou přijímány buď ve formě jednoduchých sacharidů (monosacharidy), které se v trávicím traktu přímo vstřebávají nebo složitějších sacharidů (disacharidy, polysacharidy), které se musí dále rozštěpit na jednoduché sacharidy pomocí přítomných enzymů (Prugar 2008).

Pro drůbež je z dostupných sacharidů významný především škrob a vláknina.

Škrob je polysacharid, který se vyskytuje u většiny rostlinných komponentů, kde se nachází ve formě škrobových zrn. Pro drůbež je škrob jedním z pohotových zdrojů energie, protože je pro ně snadno stravitelný a snadno dostupný v krmivu (Vollmanová et al. 2018).

Přítomnost vlákniny v krmivu je důležitá především proto, že podporuje peristaltiku střev a dráždí tak jejich stěnu, díky tomu se tak rychleji a lépe posouvá natrávené krmivo trávicím traktem. Zvětšuje zároveň objem přijatého krmiva, což způsobuje rychlejší pocit nasycení a lepší využití krmiva (Zeman et al. 2015). Pro drůbež ovšem není dostupným zdrojem energie, protože je prakticky nestravitelná v trávicím traktu. Případný nadbytek vlákniny v krmivu zhoršuje stravitelnost krmiva, naopak její nedostatek může vést ke vzniku kanibalismu mezi jedinci (Hetland et al. 2004).

#### 3.2.4.2 Dusíkaté látky

Dusíkaté látky jsou podstatnou součástí krmné dávky u drůbeže. V poslední době se jejich obsah v krmivu nenavysňuje, v některých případech dokonce snižuje. Důvodem je ideální vyvážení jednotlivých nepostradatelných aminokyselin v krmné směsi, která tak obsahuje menší množství dusíkatých látek, je levnější a přitom neklesá užitkovost zvířat.

Výsledkem je nižší obsah dusíkatých látek v trusu, a tedy i menší vliv na životní prostředí (Bedford et al. 1998).

V krmné směsi by jich mělo být takové množství, aby pokryly potřebu esenciálních, poloesenciálních a neesenciálních aminokyselin (Ježková 2016).

Nepostradatelné aminokyseliny jsou ty, které si zvířata nemohou v organismu sami syntetizovat z důvodu nedostatku potřebných transamináz a které jsou sice v organismu zčásti syntetizovány, ovšem ne v potřebném množství (Larbier & Leclercq 1994). Jsou to především lysin a threonin, dále tryptofan, histidin, fenylalanin, leucin, izoleucin, methionin, valin a arginin. Každá z nich se podílí na zachovné potřebě, tvorbě tělesného proteinu a proteinu peří drůbeže (viz Tab. 1). Esenciální aminokyselinou se u drůbeže může stát rovněž glycin, který se podílí na tvorbě kyseliny močové, která je odpadním produktem dusíkatých látek. Je tedy zapotřebí, aby všechny tyto esenciální kyseliny byly v dostatečném množství dodány zvířeti v krmné dávce (Zelenka et al. 2007; Pesti et al. 2005).

Tab. 1: Potřeba vybraných esenciálních aminokyselin (Tupý 2015)

<b>aminokyselina</b>	<b>zachovná potřeba (mg/kg živé hm./den)</b>	<b>tělesný protein (g/16 g N)</b>	<b>protein peří (g/16 g N)</b>
<b>lyzin</b>	29	7,5	1,8
<b>methionin</b>	-	2,5	0,6
<b>methionin + cystin</b>	113	3,6	7,6
<b>threonin</b>	74	4,2	4,4
<b>tryptofan</b>	19	1	0,7
<b>arginin</b>	120	6,8	6,5
<b>valin</b>	61	4,4	6
<b>izoleucin</b>	72	4	4
<b>leucin</b>	124	7,1	7

Pro samotnou syntézu bílkovin v těle je nutné, aby byly esenciální aminokyseliny zastoupeny současně. Pokud jedna z nich v krmivu chybí, tak je tento nedostatek kompenzován zvýšením příjmu krmiva, dokud není zajištěna optimální potřeba chybějící živiny. V případě, že u kuřat dojde k nedostatku aminokyselin, je následkem ukládání tuku způsobený přebytkem přijaté energie, pomocí které se snaží doplnit limitující živinu. Následkem tohoto efektu jsou vysoké náklady na výkrm a zhoršení ekonomické situace pro chovatele (Maisonnier et al. 2001).

Jinak je tomu u poloesenciálních aminokyselin, u kterých dochází v organismus k syntetizování, ovšem jen v případě cysteinu a tyrosinu. Cystein se syntetizuje z methioninu a tyrosin z fenylalaninu, tento vztah ovšem nefunguje opačně. Fenylalanin lze syntetizovat pouze z fenylalaninu a methionin nemůže být vytvářen cysteinem (Vollmanová et al. 2018).

U postradatelných neboli neesenciálních aminokyselin probíhá syntéza z nepostradatelných nebo postradatelných aminokyselin (Tupý 2015). Pokud ovšem dochází k syntéze z nepostradatelných aminokyselin, je tato tvorba nevýhodná jak biologicky, tak z hlediska ekonomiky. Ideální obsah dusíku by se měl tedy pohybovat v poměru 1:1 ve vztahu mezi postradatelnými a nepostradatelnými aminokyselinami. Mezi neesenciální aminokyseliny se řadí alanin, serin, prolin, kyselina aspartová, asparagin, kyselina glutamová a glutamin (Zeman et al. 2015; Vollmanová et al. 2018).

Z aminokyselin je nejdůležitější je poměr esenciálních aminokyselin, protože jejich obsah je limitující pro ostatní aminokyseliny. Nazývají se proto jako limitující aminokyseliny a mezi hlavní patří methionin, cystein, lysin, občas i threonin, valin nebo tryptofan. Tyto limitující aminokyseliny svým zastoupením limitují buď užitkovost zvířat, kdy nedochází ke změně obsahu dusíkatých látek v krmivu, nebo limitují využití ostatních aminokyselin a navyšují tak nároky na dusíkaté látky v krmivu. Pro drůbež jsou dále podstatné sирné aminokyseliny, jejichž obsah v krmivu je důležitý pro vývoj peří a často je problémem jejich nedostatek v krmivu (cystein, methionin) (Sklan 2001; Larbier & Leclercq 1994).

Hlavní využití aminokyselin je u drůbeže na zachovnou potřebu, vývoj peří, přírůstek na váze a tvorbu prsních svalů. Pokud jich je v organismu zvířete nadbytek, tak jsou využity jako energie nebo vytváří tukovou zásobu (Černý 2005). Ovšem záměrné zvyšování dusíkatých látek je nežádoucí, protože jejich nadbytek není možné ukládat do zásob, ale musí být vyloučeny z těla močí, což je pro zvíře energeticky náročné. Zároveň jsou aminokyseliny ve velmi vysokých dávkách pro zvíře toxické. K tomuto stavu může dojít při špatné přípravě a dávkování krmné dávky. Jednou z nejtoxičtějších aminokyselin je pro zvíře jednoznačně methionin (Reece 2009).

Stravitelnost jednotlivých aminokyselin není v krmné dávce stejná a stejně tak v různých krmných dávkách není stejně stravitelná jedna a ta samá aminokyselina. Ovšem v případě průmyslové výroby jsou tyto aminokyseliny využity téměř dokonale (Sklan 2001).

Ke vstřebávání aminokyselin dochází v trávicím traktu v úseku tenkého střeva a pomocí mikroorganismů přítomných ve slepých střevech je výsledný obsah aminokyselin jiný v distálním úseku tenkého střeva a jiný ve výkalech. Z tohoto důvodu se stravitelnost aminokyselin stanovuje na základě výpočtu ileální stravitelnosti, která je na rozdíl od fekální stravitelnosti přesnější (Larbier & Leclercq 1994). Tato stravitelnost se vypočítá na základě rozdílu mezi tráveninou přijatou a tráveninou na konci tenkého střeva. Dále se u aminokyselin může zjišťovat tzv bilanční stravitelnost, která stanovuje rozdíl mezi aminokyselinou obsaženou v krmivu a obsahem živin ve výkalech (Reece 2009).

Optimální poměr aminokyselin nelze přímo určit, protože je rozdíl mezi poměrem aminokyselin pro růst kuřat a pro zachovnou potřebu. Vše závisí také na věku kuřete, kdy se poměr mezi aminokyselinami postupně mění, stejně tak jako poměr mezi potřebou energie a aminokyselinami. Definice optimálního zastoupení aminokyselin v bílkovině se udává hodnotou ideální bílkoviny (Maisonier et al 2001; Pesti et al. 2005).

### **Ideální protein**

Ideální potřeba nepostradatelných aminokyselin se stanovuje na základě koncepce ideální bílkoviny (viz Tab. 2). Všechny nepostradatelné aminokyseliny jsou v této bílkovině stejně limitující. Ovšem ideální bílkovina se u zvířat v průběhu života mění a je zde vyšší obsah aminokyselin, které jsou potřebné pro záchovu, naopak se snižuje obsah lysinu, který je hlavní v období růstu (Zelenka 2014).

Tab. 2: Koncepce ideální bílkoviny u výkrmových kuřat (Tupý 2015)

<b>den výkrmu</b>	<b>ME MJ/kg</b>	<b>lyz</b>	<b>met</b>	<b>m+c</b>	<b>thr</b>	<b>trp</b>	<b>arg</b>	<b>ile</b>	<b>leu</b>	<b>val</b>	<b>his</b>	<b>p+t</b>
<b>1-12</b>	12,7	100	40	72	63	16	102	68	107	79	33	116
<b>13-22</b>	12,9	100	40	74	64	16	104	69	107	79	33	116
<b>23-35</b>	13	100	42	75	65	16	105	70	107	80	33	115

### 3.2.4.3 Tuky

Významným zdrojem energie v krmné směsi tvoří tuky, jejichž metabolizovatelná energie se pohybuje kolem 36 MJ/kg. Tuky musí být v krmivu kvalitní a je třeba zamezit jejich sklonu ke žluknutí pomocí antioxidantů (Zeman et al. 2015).

Tuk se využívá především jako zdroj energie, ale také jako dochucovadlo a pojivo krmiva, které je tak pro zvíře chutnější a zvýší se zároveň jeho příjem. V tucích se nachází nasycené, mononenasycené a polynenasycené mastné kyseliny (Zelenka et al. 2007).

Nasycené a mononenasycené mastné kyseliny dokáží kuřata v organismu samostatně syntetizovat. Jinak je tomu u polynenasycených kyselin (linolová,  $\alpha$ -linolenová), které jsou nepostradatelné a je nutné je doplňovat v krmivu (Vollmanová et al. 2018).

Stabilita mastných kyselin v tucích je různá a ovlivňuje ji především jejich zastoupení, které dává masu pak výslednou vůni a chuť. Ukládání nenasycených mastných kyselin v organismu probíhá beze změn, ovšem v případě příjmu těchto mastných kyselin ze sacharidů se pak v těle tvoří nasycený tuk (Larbier & Leclercq 1994). Horší stabilitu pak mají polynenasycené mastné kyseliny, díky kterým tak snáze dochází k oxidaci masa a jejich obsah v krmivu má vliv i na výsledný obsah polynenasycených mastných kyselin ve vejcích (Tupý 2015).

Přidávání tuku do krmných směsí se usnadní jejich zpracování (granule) a dochází rovněž ke snížení prašnosti (Zeman et al. 2014).

### 3.2.4.4 Vitamíny

Do krmných směsí se rovněž doplňují i důležité vitamíny, které tak zlepšují nutriční hodnotu masa brojlerů. Do krmiv se přidávají především vitamíny A, D3, K3, B1, B2, B6, B12, biotin, kyselina listová, kyselina nikotinová, kyselina pantotenová a cholin. Stejně jako u ostatních aditiv, i s vitamíny jsou spojena různá rizika při jejich nedostatku jako jsou například ztráta koordinace pohybu, rachitida, svalová dystrofie, podkožní krváceniny, nervové poruchy a další (Christmas et al. 1995; Vollmanová et al. 2018).

### 3.2.4.5 Minerální látky

Minerální látky jsou nedílnou součástí krmiva pro brojlerová kuřata. Podílí se na tvorbě kostry, osmotické rovnováze a syntéze různých sloučenin s fyziologickými funkcemi. Při sestavování krmných směsí je důležité dodržovat rovnováhu mezi jednotlivými minerálními látkami a jejich dostatečný příjem v krmivu (Larbier & Leclercq 1994).

Vápník je jeden z nejdůležitějších komponentů minerálních látek v krmivu, protože je důležitý jak pro stavbu kostry, tak pro svaly a podílí se na srážlivosti krve. Nicméně jeho nadbytek může vyvolat negativní využití fosforu, hořčíku nebo manganu, či snížit stravitelnost tuků a příjmu krmiva v důsledku nižší chutnosti směsi (Tupý 2015). Naopak nedostatek vápníku je rizikový pro zvýšený výskyt krvácenin ve svalovině a zpomalení růstu kostí, které jsou nedostatečně mineralizovány. Vápník se do krmných směsí přidává v podobě krmného vápence, případně v kombinaci s fosforem jako monokalciumpfosfát či dikalciumpfosfát (Christmas et al. 1995).

Fosfor je u drůbeže využíván z krmiva jen ve velmi malé míře. Je to způsobeno tím, že se v rostlinném krmivu fosfor vyskytuje ve formě fytinového fosforu, který je vázán na soli fytové kyseliny a brojleři tak dokáží využít jen kolem 30 % z celkově přijatého fosforu (Zelenka et al. 2007). K lepšímu a efektivnějšímu využití fosforu se tak často využívá enzymu fytázy, která se do krmiva drůbeži přidává a zvyšuje tak stravitelnost fosforu. Pokud dojde k výraznějšímu deficitu fosforu v krmivu je výsledkem snížený příjem krmiva, oslabení organismu a následný úhyn během jednoho až dvou týdnů (Khattak et al. 2006).

Podstatný je také výsledný poměr mezi vápníkem a fosforem. Pokud je jeden z prvků ve vyšším množství, než by měl být, tak dochází k absorpci toho druhého prvku z trávicího traktu. Ideální poměr tedy mezi vápníkem a fosforem u kuřecích brojlerů je 2,3: 1.

Nedílnou součástí minerálních komponentů je rovněž sodík, draslík a chlór (Pesti et al. 2005).

Sodík má podstatný vliv na užitkovost zvířat, protože ovlivňuje příjem krmiva, které je díky němu chutnější. Rovněž je důležitý pro činnost srdce, celkový vývin kostí, hospodaří s vodou v organismu a podílí se také spolu s draslíkem a chlorem na udržení acidobazické rovnováhy (Khattak et al. 2006). Do krmné směsi se dodává společně s chlorem v podobě krmné soli, ovšem jen ve velmi omezeném množství. Často se stává, že může dojít k vyšší dávce sodíku či chloru v krmivu, což může mít za následek acidózu či zhoršenou mineralizaci skeletu (Larbier & Leclercq 1994).

Důležitou součástí krmné dávky jsou i ostatní mikroprvky jako je mangan, měď, selen či zinek. Jejich nedostatek může způsobit deformaci kloubů, anemii, záněty, svalová dystrofie a další (Reece 2009).



### 3.3 Metoda *in vitro*

#### 3.3.1 Charakteristika

Při zjišťování nutriční kvality krmiv je nejdůležitější informace o stravitelnosti živin, kterou je možné zjistit pomocí metody *in vitro* neboli „ve zkumavce“ (Boisen & Eggum 1991). Tato analýza je charakteristická tím, že pokusy probíhají v podmínkách laboratoře s využitím enzymů z čistých enzymových preparátů, pankreatinu, střevní tekutiny, živých bakterií ze střevních nebo bachorových tekutin, případně extrakty stolice (Losada et al. 2009).

Systém navržený pro hodnocení krmiv založený na měření *in vitro* zahrnuje chemické analýzy sušiny, popela, dusíku, energie a aminokyselin. Principy těchto metod do jisté míry závisí na stanovených cílech, dle kterých se následně vybírají konkrétní enzymy, vybavení a inkubační podmínky (Boisen & Eggum 1991).

Metoda *in vitro* je užitečná pro rychlé poskytnutí potřebných údajů a hodnot, aniž by bylo nutné provést analýzu přímo na zvířeti jako je tomu u metody *in vivo* (Losada et al. 2009). Měření *in vivo* zahrnuje množství endogenních a bakteriálních látek, a proto jsou „zřejmými“ měřítky stravitelnosti, zatímco měření *in vitro* ve většině případů více odpovídají „skutečným“ hodnotám stravitelnosti. *In vivo* metoda je navíc časově náročná a nákladná, z tohoto důvodu je v současné době snaha o rozvoj snazších a dostupnějších metod *in vitro* (Boisen & Eggum 1991).

Při stanovení stravitelnosti *in vitro* je nejdůležitější aktivita přítomných enzymů, kterou může ovlivnit hned několik faktorů. Řadí se mezi ně například teplota, pH, stabilita, koncentrace, různé inhibitory nebo doba inkubace. Stejně tak může výsledné hodnoty ovlivnit hmotnost materiálu nebo obsah dusíku ve vzorcích (Losada et al. 2009). Pro *in vitro* metody, které jsou založené na postupných inkubacích pepsinu a pankreatinu, jsou tyto faktory podstatné a měly by se co nejvíce podobat těm v trávicím traktu zvířete. Ne vždy je však možné tyto podmínky zajistit (Boisen & Eggum 1991; Crévieu - Gabriel et al. 1999).

Podstatný vliv na aktivitu enzymů a snížení stravitelnosti živin mají obecně nestravitelné látky obsažené v analyzovaném vzorku. Řadí se mezi ně vláknina a antinutriční látky - inhibitory trypsinu, taniny, lektiny, fytáty, glukosinoláty a alkaloidy, které ovšem mají mnohem menší účinek na měření *in vitro*. Je to způsobeno specifickým a kvantitativním působením těchto látek při podmínkách *in vivo* (Boisen & Eggum 1991).

Pro správnou funkci a aktivitu enzymů je také důležitá velikost částic, která určuje přístupnost enzymů k živinám. Čím jsou částice jemnější (< 0,4 mm), tím jsou výsledky rychleji a přesněji stanovené. Ovšem bylo zjištěno, že u vzorků s jemnější konzistencí je poté

problém s identifikací proteinů. To znamená, že přesnost metody je sice zvýšena, ale oproti tomu jsou hůře detekovatelné proteiny ve vzorku (Clunies & Leeson 1983). Vzorky s hrubší konzistencí je nutné déle inkubovat, aby byla zajištěna dostatečná hydrolyza živin. Není však potvrzené, že tento postup má zpravidla vliv na konečný výsledek (Boisen & Eggum 1991).

*In vitro* se využívá především pro rozbor krmiv a komponentů určeným zvířatům s jednoduchým žaludkem jako jsou prasata či drůbež (Boisen & Eggum 1991). I když v současné době se již běžně využívá také u přežvýkavců (Loučka 2011). U drůbeže je široké využití jak u diet s vysokou, tak nízkou stravitelností, případně pro zjištění dostupné energie v krmivu. Ovšem u vysoko stravitelných krmiv jsou výsledky v porovnání s *in vivo* přesnější. Je to zřejmě dáno tím, že fermentace je v porovnání s vysokostravitelnými dietami významnější u nízkostravitelných, případně může mít vliv vyšší obsah tuku ve vzorku, který ovlivňuje stravitelnost *in vitro* (Clunies & Leeson 1983).

Hodnoty stravitelnosti mohou být založeny na měření počáteční rychlosti štěpení, na částečném štěpení (jedno-, multi-enzymové systémy) nebo na úplném štěpení živin (multi-enzymový systém). Metody založené na predikci stravitelnosti s jedním enzymem se využívají pro jednotlivé živiny, např. u proteinu použitím pepsinu nebo u škrobu použitím amylázy. Nicméně vzhledem k tomu, že trávení jedné živiny je obecně ovlivněno trávením jiných živin, předpokládá se, že nejspolehlivější hodnoty jsou získány pomocí multi-enzymové metody. Navíc u testů s využitím více enzymů je redukce aktivity enzymů způsobená vlákninou mnohem nižší, než při štěpení jedním enzymem (Boisen & Eggum 1991).

Metoda *in vitro* se neustále zdokonaluje, a to především proto, aby mohly být v budoucnosti výsledné hodnoty analýzy použity jako výchozí ukazatele krmiv a komponentů pro zvířata, případně být základem pro rozvoj dalších a pokročilejších metod (Losada et al. 2009).

### 3.3.2 Výhody

Výhodou metody je vysoká variabilita analyzovaných vzorků. Ovšem na druhou stranu je vždy nutné výsledné hodnoty ověřit hodnotami stravitelnosti *in vivo* pomocí regresních rovnic, z kterých lze například u drůbeže odhadnout metabolickou energii složek krmiva (Losada et al. 2009). Pro zvýšení přesnosti metody *in vitro* je vhodné také zahrnout do analýzy standardní vzorek s hodnotami získané metodou *in vivo* a použít je pro případné korekce (Furuya 1980).

*In vitro* metoda je také přínosná pro stanovení tepelného poškození zdrojů proteinů nebo odhad dostupnosti aminokyselin (Crévieu - Gabriel et al. 1999). Časem by tak mohly být tyto hodnoty základem pro vývoj krmiv vhodné pro drůbež, zejména u lysinu, který je nejčastěji první limitující aminokyselinou. Analýza aminokyselin v proteinu ovšem stále patří mezi komplikovanější, a ne zcela přesné metody. V současné době je však snaha o zdokonalování těchto metod a odstranění nedostatků (Boisen & Eggum 1991; Ravindran & Bryden 1999).

Své zastoupení má rovněž při pokusech analyzování účinku nových enzymatických přípravků na zvyšování stravitelnosti krmiv (Bedford & Classen 1993).

### 3.3.3 Nevýhody

Jednou z nevýhod *in vitro* metody je její využití jen pro určité druhy zvířat z důvodu zajištění přesnosti výsledků. Nicméně je možné ji spolehlivě aplikovat u vzorků krmiv určená pro prasata či drůbež (Furuya 1980). Dnes je ovšem téměř bez problémů možné určit stravitelnost také u přežvýkavců pomocí inkubace v bachorové tekutině nebo nově i enzymaticky (Loučka 2011).

U analýzy *in vitro* není zcela zaručena přesnost výsledných údajů jako je tomu u metody *in vivo*, kde probíhají pokusy přímo na zvířetech a výsledky jsou tak důvěryhodnější (Losada et al. 2009). Proces *in vitro* tak nemůže být nikdy simulován za stejných podmínek a použitelnost výsledků *in vitro* je tak závislá na korelaci s hodnotami *in vivo*, které byly získané za standardizovaných podmínek za použití identického materiálu. Výsledné hodnoty *in vitro* metody tak nemohou být použity jako základ pro praktické krmné účely (Boisen & Eggum 1991; Ravindran & Bryden 1999).

Nevýhodou je také rozdíl v použitých enzymech k měření. Ve většině případů se totiž využívá enzymů z trávicího traktu savců, konkrétně z prasete, které mají rozdílné enzymatické vlastnosti a trávení než například drůbež. U drůbeže je rozdíl v tělesné teplotě (40 °C), pH trávicího traktu, době inkubace tráveniny a hydrolýzy v trávicím traktu (drůbež 4-6 hodin, prase 5-14 hodin) nebo citlivosti k inhibitorům enzymů. Všechny tyto rozdíly mohou poté ovlivnit výsledné hodnoty stravitelnosti (Crévieu - Gabriel et al. 1999).

## 3.4 Extruze

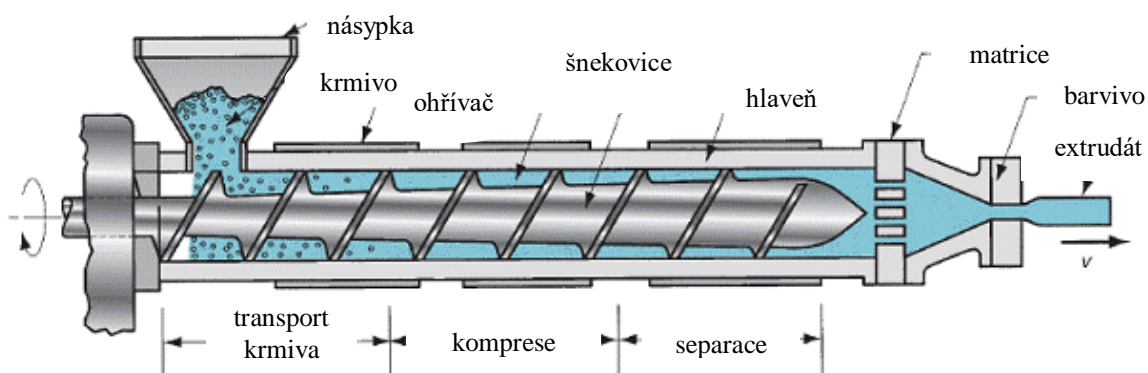
### 3.4.1 Charakteristika

Extruze patří mezi procesy, které využívají vysokou teplotu při velmi krátkém časovém úseku, tzv. HTST (high temperature-short time), při kterém dochází k mechanickému zpracování plodiny za vysokého tlaku a teploty zakončený vytlačněním a tvarováním přes matrici. Cílem tohoto procesu je zejména snížení obsahu antinutričních látek a zvýšení využití živin (Scudamore et al. 2008). Extruze tak může nejen zlepšit kvalitu krmiva úpravou struktury, ale také zvýšit stravitelnost plodiny v konečném produktu. Velkou výhodou tepelně upravených krmiv je také preventivní hygienické opatření, které tak předchází případnému výskytu nežádoucích mikroorganismů, plísní a hub. Ovšem i přesto je zde vždy určitá pravděpodobnost výskytu těchto patogenů (Maroušek 2011).

Pomocí extruze lze vyrobit krmiva jak z olejnin, tak rostlinných bílkovin nebo využít odpady z potravinářského průmyslu. Dané surovině se poté přizpůsobí parametry extruze jako je vlhkost, teplota, profil matrice a další faktory, díky kterým je možné vytvořit celou řadu produktů (Ježková 2016). Využívá se také pro zpracování různých obilnin včetně kukuřice, pšenice a rýže. Pšenice je běžně používaná z důvodu své dostačující schopnosti rozpínání a široké škály modifikací, které extruze nabízí (Zeman et al. 2014).

### 3.4.2 Princip

Metoda extruze je již v dnešní době běžně využívaným způsobem úpravy krmiv a její proces je tak v krmivářství běžně praktikován. Extrudér (viz Obr. 3) tvoří dlouhý válec, ve kterém se nachází šnekovice, která má za úkol posouvat materiál dále za působení vysokého tlaku páry a teploty, což způsobuje zmazovatění materiálu (Santala et al. 2014). Na konci extruze se nachází různě tvarovaná matrice, přes kterou je konečný materiál protlačen, rozpíná se a ztrácí 10 % své vlhkosti (Rytina 2012).



Obr. 3: Model a popis extrudéru (Maroušek 2011)

Extruze se provádí dvěma způsoby, a to buď suchou, nebo vlhkou metodou. Při suché extruzi působí vysoká teplota přímo na materiál v extrudéru. U vlhké extruze dochází k ohřátí a zvlhčení materiálu v prekondicionéru pomocí páry a výstupní materiál má vlhkost v rozmezí 25 - 30 % (Xiaoguang et al. 2015). Vysokého tlaku je nejčastěji dosaženo zvýšením teploty pomocí horké páry. Narozdíl od mechanických způsobů úpravy krmiv je u extruze zachována velikost částic, ale dochází zde k hluboké dezintegraci rostlinných vláken až na úroveň buněk (Maroušek 2011).

Aby proběhl proces extruze bez jakýchkoliv komplikací, tak je nutné, aby vstupní materiál měl v součtu vlhkosti a tuku minimálně 25 %. Pokud je výsledný obsah nižší, tak je možné docílit vyšších hodnot přidáním vody nebo vodní páry do vstupní suroviny během procesu extruze (Chao-Chi Chuang & Yeh 2004).

### **3.4.3 Vliv na živiny**

Záměrem extruze je stabilizace a homogenizace materiálu, ovšem dochází zde zároveň k významným živinovým změnám. Tepelné úpravy krmiv mají totiž vliv jak na vlastnost krmiva, tak na obsah živin, jakými jsou škrob, proteiny, tuky nebo vitamíny (Zeman et al. 2014).

#### **3.4.3.1 Sacharidy**

U extrudovaných krmiv je ze sacharidů nejvíce ovlivněn škrob, který je díky extruzi rozložen na jednoduché cukry a pro enzymy je tak přístupnější. Zvířatům tak slouží jako pohotový a stravitelnější zdroj energie. Škrob při úpravě vyšší teplotou tzv. zmazovává a zvýší se tak stabilita krmiva ve vodě. U pšeničného škrobu je optimální teplota pro zmazovávání 120 °C a vlhkost kolem 20 %. Navíc vytváří přirozené pojivo krmiva (Ganival & Hanna 2004).

Co se týká vlákniny, tak se v extrudovaném krmivu zvyšuje podíl rozpustné vlákniny, jinak je zde vliv extruze minimální (Xiaoguang et al. 2015).

#### **3.4.3.2 Bílkoviny**

U bílkovin vlivem vysokých teplot, vyšší vlhkosti a tlaku dochází k denaturaci proteinu a tím se tak sníží aktivita inhibitoru trypsinu. Pokud působí vysoká teplota pouze po krátký časový úsek, je využitelnost aminokyselin stabilní a nezhoršuje se (Cazzaniga et al. 2001). Ovšem při vyšších teplotách po delší dobu může dojít konkrétně u lysinu k Maillardově reakci, kde se cukry vážou na aminokyseliny a tato navázaná část

aminokyseliny se tak stane pro zvíře nevyužitelná. Extruze tedy sice zvyšuje stravitelnost bílkovin jejich denaturací, ovšem dochází zde rovněž k určitým ztrátám aminokyselin především termolabilního lysinu (Bullerman et al. 2008; Ježková 2016).

#### 3.4.3.3 Tuky

Vlivem extruze u tuků dochází pomocí tepla k denuraci lipázy a lipooxidázy, čímž se zpomalí rozklad a oxidace tuků. Tuky jsou pak v krmné směsi stabilnější a mají delší trvanlivost (Ganival & Hanna 2004). Ovšem pro výrobu extrudovaných krmiv se nedoporučuje používat suroviny s obsahem tuku vyšším než 10 % nebo naopak nižší než 2,5 %. Je to z důvodu komplikace procesu extruze, kdy může dojít ke zvýšenému skluzu válce nebo naopak snížení potřebné viskozity (Santala et al. 2014).

#### 3.4.3.4 Vitamíny a minerální látky

Extruzí jsou ovlivněny také vitamíny přítomné v krmivu, především co se týká vitamínů rozpustných v tucích, z nichž nejcitlivější jsou vitamíny skupiny A a D. U těchto vitamínů je riziko jejich poklesu obsahu v surovině až o 50 %. U voděrozpustných vitamínů je nejvíce ohrožen vitamín C a B1, ovšem zde jsou již ztráty nižší (30 %). Případné ztráty vitamínů je tedy následně lepší vykompenzovat například nástřikem na krmivo. Minerální látky jsou vůči extruzi zcela odolné (Ježková 2016).

### 3.4.4 Výhody

Tepelné úpravy krmiv mají své výhody především z hlediska vyšší stravitelnosti potřebných živin, odbourávání antinutričních látek a likvidaci nežádoucích bakterií, plísní a škůdců (Bullerman et al. 2008; Scudamore et al. 2008).

Důležitým přínosem extruze je také homogenizace krmiva, díky které jsou všechny složky krmiva rovnoměrně zastoupeny v krmné dávce (Maroušek 2011).

Další výhodou jsou z hlediska ekonomiky především nízké investiční náklady a spotřeba energie, která je podstatně nižší než při jiných tepelných úpravách krmiv (Zeman et al. 2014).

Extruze je rovněž velmi rozmanitá v možnostech tvarování konečného produktu, kde díky různě tvarovaným matricím umístěným na konci extrudéru může vznikat krmivo různých tvarů. Jedinou podmínkou pro výsledné tvarování granulí je dostatek pojivového materiálu, jakým může být například přirozeně se vyskytující škrob (Chao-Chi Chuang & Yeh 2004).

Extruze rovněž prodlužuje trvanlivost krmiva, tím že zabraňuje oxidaci tuků a pomocí vysokého tlaku a teploty likviduje nežádoucí látky ve vstupní surovině (Cazzaniga et al. 2001).

#### **3.4.5 Nevýhody**

Extruze má ovšem i svá rizika a nevýhody. Jednou z nich je Maillardova reakce, při které dochází k horší využitelnosti dusíkatých látek (aminokyselin) a při vyšších teplotách ztráta důležitých látek ve vstupní surovině (vitamíny) (Santala et al. 2014).

Zároveň je nutné při metodě tzv. vlhké extruze materiál dodatečně dosušit, protože v krmivu poté hrozí výskyt případných nežádoucích patogenů, které by mohly ohrozit zdraví zvířat (Xiaoguang et al. 2015).

## 4 Metodika

### 4.1 Stanovení sušiny

Stanovení sušiny pšenice proběhlo na základě dvou navážek od každého vzorku po 2,5 g do připravených hliníkových misek, které se následně vložily na 4 hodiny do sušárny vyhřáté na 103 °C. Po vysušení se misky nechaly vychladnout v exsikátoru a následně byly zváženy.

Výpočet sušiny se stanovil na základě níže uvedeného výpočtu:

$$\text{Obsah sušiny (\%)} = \frac{\text{hmotnost vysušeného krmiva (g)} - \text{hmotnost prázdné misky (g)}}{\text{navážka vzorku krmiva (g)}} * 100$$

### 4.2 Stanovení dusíkatých látek podle Kjeldahla

Analýza probíhala u dvou navážek od každého vzorku po 0,5 g, do kterých se následně přidala katalyzátorová tableta Kjeltabs, 96% kyselina sírová a peroxid vodíku. Vzorky se následně nechaly zmineralizovat při 420 °C po dobu 45 minut. Po mineralizaci se dusík přítomný ve vzorku převedl na amoniak vázaný ve formě síranu amonného.

Po vychladnutí zmineralizovaných vzorků do nich byla přidána destilovaná voda a probíhala analýza na základě titrace pomocí alkalického hydroxidu sodného, díky kterému se amoniak ze síranu amonného uvolnil a stanovil se tak obsah dusíkatých látek, který byl na přístroji uveden jako % dusíkatých látek ve vzorku.

Dusíkaté látky byly ve vzorcích stanoveny pomocí metody dle Kjeldahla na přístroji Kjeltec 2400 (Foss).

### 4.3 Stanovení škrobu

Škrob byl stanoven enzymaticky pomocí analytického kitu K-TSTA-100A vyráběného firmou Megazyme. 0,1 g vzorku bylo inkubováno za tepla v roztocích termostabilní  $\alpha$ -amylázy a amyloglukosidázy. Po přidavku reakčního činidla byly vzorky změřeny spektrofotometricky při 520 nm. Na základě absorbance roztoku čisté glukózy o známé koncentraci a absorbance analyzovaného roztoku byl spočítán obsah škrobu podle metodiky dodávané spolu s analytickým kitem.



## 4.4 Stanovení stravitelnosti in vitro

### 4.4.1 Dusíkaté látky

Ke stanovení stravitelnosti dusíkatých látek bylo od každého vzorku čtyřikrát naváženo 0,5 g, následně byl přidán roztok 0,075 M kyseliny chlorovodíkové a 1140 U pepsinu. Všechny vzorky byly následně promíchány a inkubovány po dobu 2 hodin při 40 °C.

Po 2 hodinách inkubace byl do vzorků přidán roztok 0,1 M hydroxidu sodného s přídavkem pankreatinu 2,67 mg na ml roztoku, pomocí které bylo pH upraveno na pH 6,9. Následně bylo do vzorků napipetováno 2 ml pufru 0,67 M trishydroxymetylaminometanu. Vzorky byly promíchány a proběhla další inkubace po dobu 2 hodin při 40 °C.

Po druhé inkubaci byly vzorky zcentrifugovány 20 minut při otáčkách 3000/min. Ze zbylého supernatantu se z každého vzorku odebralo 5 ml na stanovení dusíkatých látek.

Obsah stravitelných dusíkatých látek byl stanoven pomocí metody dle Kjeldahla na přístroji Kjeltec 2400 (Foss). Výsledné hodnoty dusíkatých látek byly porovnány s hodnotami před inkubací a byla tak zjištěna stravitelnost dusíkatých látek ve vzorcích.

### 4.4.2 Škrob

Pro stanovení stravitelnosti škrobu byly od každého vzorku použity dvě navážky po 0,1 g, do kterých byl přidán roztok 0,075 M kyseliny chlorovodíkové a 1140 U pepsinu. Všechny vzorky byly následně promíchány a inkubovány po dobu 2 hodin při 40 °C.

Po 2 hodinách inkubace byl do vzorků přidán roztok 0,1 M hydroxidu sodného s přídavkem pankreatinu 2,67 mg na ml roztoku, pomocí kterého se upravilo pH na 6,9. Následně bylo do vzorků napipetováno 2 ml pufru 0,67 M trishydroxymetylaminometanu. Vzorky byly promíchány a proběhla další inkubace po dobu 2 hodin při 40 °C.

Po druhé inkubaci byly vzorky zcentrifugovány 20 minut při otáčkách 3000/min. Do vzniklého supernatantu od každého vzorku byl přidán 0,1 ml amyloglukosidázy a proběhla inkubace ve vodní lázni po dobu 30 minut při 50 °C.

Po inkubaci byl objem zkumavek doplněn na 11 ml destilovanou vodou, promíchán a vzorky byly následně odstředěny 10 minut při otáčkách 3000/min.

Ze vzniklého supernatantu byl odebrán 1 ml a naředěn destilovanou vodou na celkový objem 10 ml. Z výsledného alikvotu bylo odebráno 0,1 ml do nové zkumavky s 3 ml GOPOD roztoku (reakčního činidla) a společně se slepým pokusem a standardem bylo vše inkubováno ve vodní lázni po dobu 20 minut při 50 °C. Výsledný podíl stravitelného škrobu byl stanoven na spektrofotometru a porovnán s hodnotami před inkubací.

## **4.5 Statistické vyhodnocení**

Základní statistické ukazatele byly vyhodnoceny v programu Microsoft Excel. Podrobná analýza rozptylu byla stanovena jednovýběrovou metodou ANOVA pomocí Tuckeyho HSD testu v programu Statistica 12 (Statsoft).

## 5 Výsledky

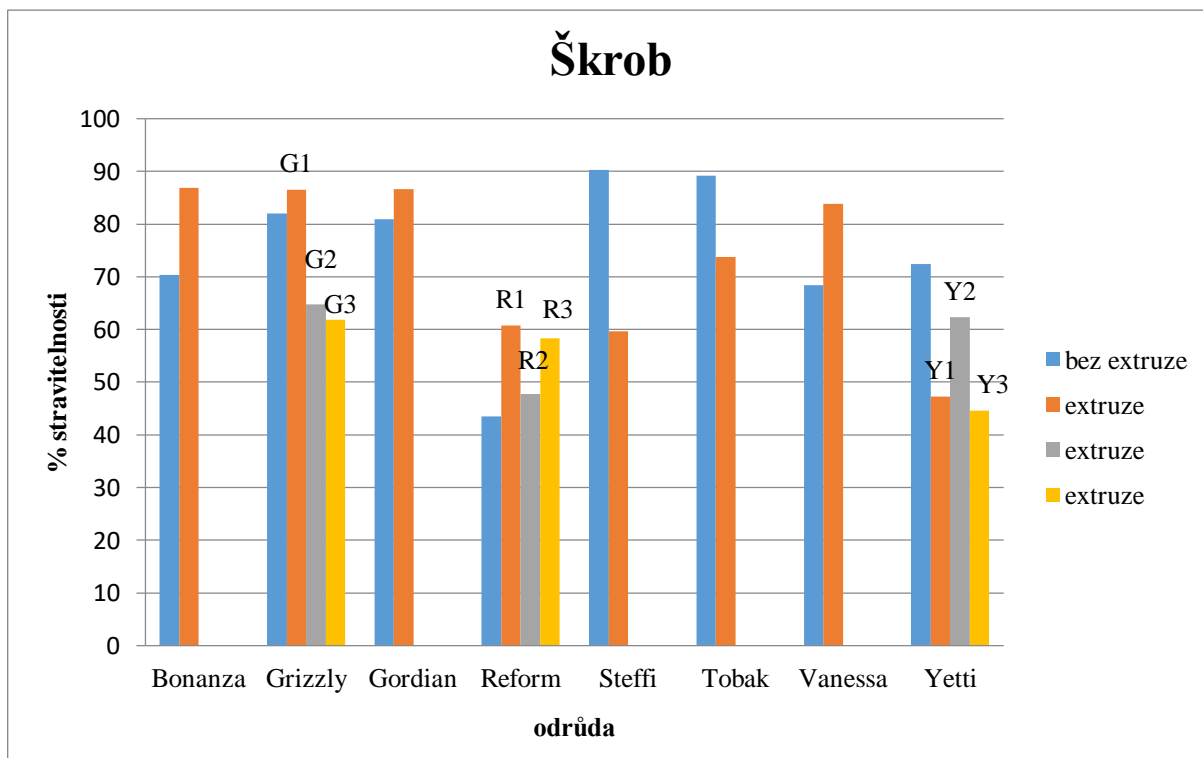
### 5.1 Výsledky stravitelnosti škrobu a dusíkatých látek pšenice

Tabulka č. 3: Stravitelnost škrobu u neextrudovaných pšeníc

odrůda	průměr	směrodatná odchylna	min.	max.
<b>Bonanza</b>	70,4 ± 7,45	14,9	52,7	89,3
<b>Grizzly</b>	82,0 ± 6,20	12,4	61,2	94,3
<b>Gordian</b>	80,9 ± 6,70	13,4	59,5	94,7
<b>Reform</b>	43,5 ± 6,60	13,2	34,9	60,1
<b>Steffi</b>	90,3 ± 2,25	18,4	74	91,2
<b>Tobak</b>	89,2 ± 6,65	13,3	67,1	90,8
<b>Vanessa</b>	68,4 ± 5,55	11,1	54,5	79,8
<b>Yetti</b>	72,4 ± 5,05	10,1	59,1	86,4

Tabulka č. 4: Stravitelnost škrobu u extrudovaných pšeníc

odrůda	průměr	směrodatná odchylna	min.	max.
<b>Bonanza E</b>	86,9 ± 7,50	15,0	61,1	98,4
<b>Grizzly G1</b>	86,5 ± 5,10	10,2	71,7	88,6
<b>Grizzly G2</b>	64,8 ± 4,35	8,7	50,2	72,5
<b>Grizzly G3</b>	61,9 ± 4,80	9,6	48,5	72,9
<b>Gordian E</b>	86,6 ± 7,55	15,1	61,5	95,7
<b>Reform R1</b>	60,8 ± 4,90	9,8	43,9	68,1
<b>Reform R2</b>	47,7 ± 6,50	13,0	30,8	66,4
<b>Reform R3</b>	58,3 ± 3,75	7,5	46,0	66,1
<b>Steffi E</b>	59,7 ± 2,25	4,5	54,6	67,0
<b>Tobak E</b>	73,8 ± 3,85	7,7	66,5	86,0
<b>Vanessa E</b>	83,9 ± 8,00	16,0	57,4	99,6
<b>Yetti Y1</b>	47,3 ± 3,45	6,9	39,1	57,9
<b>Yetti Y2</b>	62,3 ± 3,90	7,8	49,2	69,8
<b>Yetti Y3</b>	44,6 ± 3,25	6,5	33,9	50,1



Graf č. 1: Stravitelnost škrobu pšenice jednotlivých odrůd

Stravitelnost škrobu vybraných druhů pšenice se v průměru pohybuje v rozmezí od 40 % do 90 %. Nejvyšší průměrná stravitelnost škrobu je u odrůdy Steffi (90,3 %) a nejnižší u odrůdy Reform (43,5 %). Nejvyšší maximální hodnoty dosáhla odrůda Steffi (91,2 %) nejnižší pak Reform R2 (30,8 %).

Z extrudovaných odrůd pšenice má nejvyšší průměrnou stravitelnost škrobu Bonanza E (86,9 %), naopak nejnižší stravitelnost má odrůda Yetti Y3 (44,6 %). Nejvyšší maximální hodnotu stravitelnosti škrobu z extrudovaných pšenic dosáhla odrůda Gordian E (95,7 %), nejnižší hodnoty pak Reform R2 (30,8 %).

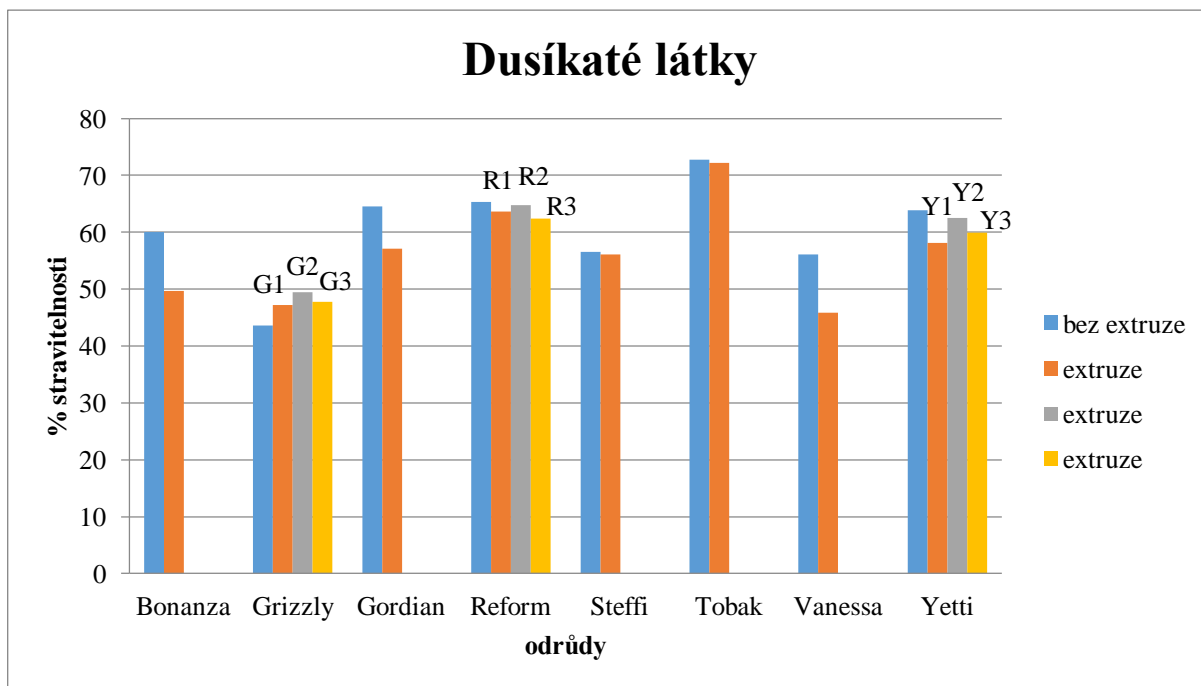
Z odrůd, které nebyly extrudované, je nejvyšší průměrná stravitelnost škrobu u odrůdy Steffi (90,3 %), nejnižší naopak u odrůdy Reform (43,5 %). Nejvyšší maximální hodnoty dosáhla odrůda Steffi (91,2 %) nejnižší hodnotu stravitelnosti škrobu měla odrůda Reform (34,9 %).

Tabulka č. 5: Stravitelnost NL u neextrudovaných pšeníc

<b>odrůda</b>	<b>průměr</b>	<b>směrodatná odchylka</b>	<b>min.</b>	<b>max.</b>
<b>Bonanza</b>	60,0 ± 0,95	1,9	57,1	61,8
<b>Grizzly</b>	43,6 ± 2,00	4,0	37,6	48,2
<b>Gordian</b>	64,5 ± 1,40	2,8	60,3	68,1
<b>Reform</b>	65,3 ± 0,35	0,7	64,3	66,0
<b>Steffi</b>	56,5 ± 1,85	3,7	52,9	61,2
<b>Tobak</b>	72,7 ± 0,35	0,7	72,0	73,9
<b>Vanessa</b>	56,1 ± 0,80	1,6	54,6	58,7
<b>Yetti</b>	63,9 ± 2,85	5,7	54,2	68,6

Tabulka č. 6: Stravitelnost NL u extrudovaných pšeníc

<b>odrůda</b>	<b>průměr</b>	<b>směrodatná odchylka</b>	<b>min.</b>	<b>max.</b>
<b>Bonanza E</b>	49,7 ± 0,70	1,4	48,0	51,5
<b>Grizzly G1</b>	47,2 ± 0,15	0,3	46,9	47,5
<b>Grizzly G2</b>	49,5 ± 0,80	1,6	48,0	52,0
<b>Grizzly G3</b>	47,8 ± 0,40	0,8	46,8	48,8
<b>Gordian E</b>	57,1 ± 1,10	2,2	54,3	60,3
<b>Reform R1</b>	63,6 ± 0,35	0,7	62,4	64,3
<b>Reform R2</b>	64,8 ± 0,30	0,6	64,1	65,8
<b>Reform R3</b>	62,4 ± 1,25	2,5	58,0	64,3
<b>Steffi E</b>	56,1 ± 0,95	1,9	53,5	58,7
<b>Tobak E</b>	72,2 ± 0,40	0,8	71,2	73,5
<b>Vanessa E</b>	45,8 ± 0,60	1,2	44,6	47,7
<b>Yetti Y1</b>	58,1 ± 3,00	6,0	47,8	62,2
<b>Yetti Y2</b>	62,5 ± 0,45	0,9	61,2	63,5
<b>Yetti Y3</b>	59,9 ± 0,80	1,6	57,2	61,0



Graf č. 2: Stravitelnost dusíkatých látek jednotlivých odrůd

Stravitelnost dusíkatých látek vybraných druhů pšenice se v průměru pohybuje v rozmezí od 40 % do 70 %. Nejvyšší průměrná stravitelnost je u odrůdy Tobak (72,7 %) a nejnižší u odrůdy Grizzly (43,6 %). Nejvyšší maximální hodnoty dosáhla odrůda Tobak (73,9 %), nejnižší pak Grizzly (37,6 %).

Z extrudovaných odrůd pšenice má nejvyšší průměrnou stravitelnost škrobu Tobak E (72,2 %), nejnižší průměrnou stravitelnost má odrůda Vanessa E (45,8 %). Nejvyšší maximální hodnotu stravitelnosti škrobu z extrudovaných pšenic dosáhla odrůda Tobak E (73,5 %), nejnižší hodnoty pak Vanessa E (44,6 %).

Z odrůd, které nebyly extrudované, je nejvyšší průměrná stravitelnost škrobu u odrůdy Tobak (72,7 %), nejnižší naopak u odrůdy Grizzly (43,5 %). Nejvyšší maximální hodnoty dosáhla odrůda Tobak (73,9 %), nejnižší hodnotu stravitelnosti škrobu měla odrůda Grizzly (48,2 %).

**Tabulka č. 7: Stravitelnost škrobu dle pekařské jakosti**

<b>pečivářská jakost</b>	<b>odrůda</b>	<b>průměr</b>	<b>směrodatná odchylka</b>	<b>min.</b>	<b>max.</b>
<b>A</b>	<b>Reform</b>	43,5 ± 6,60	13,2	34,9	60,1
	<b>Reform R1</b>	60,8 ± 4,90	9,8	43,9	68,1
	<b>Reform R2</b>	47,7 ± 6,50	13	30,8	66,4
	<b>Reform R3</b>	58,3 ± 3,75	7,5	46	66,1
<b>B</b>	<b>Gordian</b>	80,9 ± 6,70	13,4	59,5	94,7
	<b>Gordian E</b>	86,6 ± 7,55	15,1	61,5	95,7
	<b>Steffi</b>	90,3 ± 2,25	18,4	74	91,2
	<b>Steffi E</b>	59,7 ± 2,25	4,5	54,6	67
	<b>Tobak</b>	89,2 ± 6,65	13,3	67,1	90,8
	<b>Tobak E</b>	73,8 ± 3,85	7,7	66,5	86
<b>C</b>	<b>Bonanza</b>	70,4 ± 7,45	14,9	52,7	89,3
	<b>Bonanza E</b>	86,9 ± 7,50	15	61,1	98,4
	<b>Grizzly</b>	82,0 ± 6,20	12,4	61,2	94,3
	<b>Grizzly G1</b>	86,5 ± 5,10	10,2	71,7	88,6
	<b>Grizzly G2</b>	64,8 ± 4,35	8,7	50,2	72,5
	<b>Grizzly G3</b>	61,9 ± 4,80	9,6	48,5	72,9
	<b>Vanessa</b>	68,4 ± 5,55	11,1	54,5	79,8
	<b>Vanessa E</b>	83,9 ± 8,00	16	57,4	99,6
	<b>Yetti</b>	72,4 ± 5,05	10,1	59,1	86,4
	<b>Yetti Y1</b>	47,3 ± 3,45	6,9	39,1	57,9
	<b>Yetti Y2</b>	62,3 ± 3,90	7,8	49,2	69,8
	<b>Yetti Y3</b>	44,6 ± 3,25	6,5	33,9	50,1

Stravitelnost škrobu pšenice u pekařské jakosti A byla v průměru nejvyšší u odrůdy Reform R1 (60,8 %) a nejnižší u Reform R2 (47,7 %), nejvyšší hodnota u jakosti B měla odrůda Steffi (90,3 %) a nejnižší Steffi E (59,7 %) a nejvyšší průměrnou stravitelnost u jakosti C odrůda Bonanza E (86,9 %) a nejnižší odrůda Yetti Y3 (44,6 %).

Maximálních hodnot u jakosti A dosáhla odrůda Reform R1 (68,1 %), u jakosti B odrůda Steffi (91,2 %) a u jakosti C odrůda Grizzly G1 (88,6 %).

Minimálních hodnot u jakosti A dosáhla odrůda Reform R2 (30,8 %), u jakosti B odrůda Steffi E (54,6 %) a u jakosti C odrůda Yetti Y (33,9 %).

**Tabulka č. 8: Stravitelnost NL dle pekařské jakosti**

pečivářská jakost	odrůda	průměr	směrodatná odchylka	min.	max.
A	<b>Reform</b>	65,3 ± 0,35	0,7	64,3	66
	<b>Reform R1</b>	63,6 ± 0,35	0,7	62,4	64,3
	<b>Reform R2</b>	64,8 ± 0,30	0,6	64,1	65,8
	<b>Reform R3</b>	62,4 ± 1,25	2,5	58	64,3
B	<b>Gordian</b>	64,5 ± 1,40	2,8	60,3	68,1
	<b>Gordian E</b>	57,1 ± 1,10	2,2	54,3	60,3
	<b>Steffi</b>	56,5 ± 1,85	3,7	52,9	61,2
	<b>Steffi E</b>	56,1 ± 0,95	1,9	53,5	58,7
	<b>Tobak</b>	72,7 ± 0,35	0,7	72	73,9
	<b>Tobak E</b>	72,2 ± 0,40	0,8	71,2	73,5
C	<b>Bonanza</b>	60,0 ± 0,95	1,9	57,1	61,8
	<b>Bonanza E</b>	49,7 ± 0,70	1,4	48	51,5
	<b>Grizzly</b>	43,6 ± 2,00	4	37,6	48,2
	<b>Grizzly G1</b>	47,2 ± 0,15	0,3	46,9	47,5
	<b>Grizzly G2</b>	49,5 ± 0,80	1,6	48	52
	<b>Grizzly G3</b>	47,8 ± 0,40	0,8	46,8	48,8
	<b>Vanessa</b>	56,1 ± 0,80	1,6	54,6	58,7
	<b>Vanessa E</b>	45,8 ± 0,60	1,2	44,6	47,7
	<b>Yetti</b>	63,9 ± 2,85	5,7	54,2	68,6
	<b>Yetti Y1</b>	58,1 ± 3,00	6	47,8	62,2
	<b>Yetti Y2</b>	62,5 ± 0,45	0,9	61,2	63,5
	<b>Yetti Y3</b>	59,9 ± 0,80	1,6	57,2	61

Stravitelnost dusíkatých látek pšenice u pekařské jakosti A byla v průměru nejvyšší u odrůdy Reform (65,3 %), a nejnižší u Reform R3 (62,4 %), nejvyšší hodnota u jakosti B měla odrůda Tobak (72,7 %) a nejnižší Steffi E (56,1 %) a nejvyšší průměrnou stravitelnost u jakosti C měla odrůda Yetti (63,9 %) a nejnižší odrůda Grizzly (43,6 %).

Maximálních hodnot u jakosti A dosáhla odrůda Reform R2 (65,8 %), u jakosti B odrůda Tobak (73,9 %) a u jakosti C odrůda Yetti (68,6 %).

Minimálních hodnot u jakosti A dosáhla odrůda Reform R3 (58 %), u jakosti B odrůda Steffi (52,9 %) a u jakosti C odrůda Grizzly (37,6 %).



## 5.2 Analýza rozptylu

Tabulka č. 9: Stravitelnost škrobu dle extruze

	N	E
N		<b>0,023240</b>
E	<b>0,023240</b>	

*N - neextrudované*

*E - extrudované*

*Statisticky významné rozdíly jsou vyznačeny červeně*

Ve stravitelnosti škrobu mezi extrudovanými a neextrudovanými odrůdami je významný statistický rozdíl. Je možné zamítnout nulovou hypotézu.

Tabulka č. 10: Stravitelnost NL dle extruze

	N	E
N		<b>0,098214</b>
E	<b>0,098214</b>	

*N - neextrudované*

*E – extrudované*

Ve stravitelnosti dusíkatých látek mezi extrudovanými a neextrudovanými odrůdami není významný statistický rozdíl. Není možné zamítnout nulovou hypotézu.

Tabulka č. 11: Stravitelnost škrobu dle pekařské jakosti

	C	B	A
C		<b>0,013363</b>	<b>0,003526</b>
B	<b>0,013363</b>		<b>0,000110</b>
A	<b>0,003526</b>	<b>0,000110</b>	

*A - potravinářská pro pekárenské využití*

*B - pečivářská*

*C - pro speciální využití*

*Statisticky významné rozdíly jsou vyznačeny červeně*

Ve stravitelnosti škrobu dle pekařské jakosti je významný statistický rozdíl mezi všemi jakostmi. Je možné zamítnout nulovou hypotézu.

Tabulka č. 12: Stravitelnost NL dle pekařské jakosti

	C	B	A
C		<b>0,000109</b>	<b>0,000114</b>
B	<b>0,000109</b>		<b>0,928002</b>
A	<b>0,000114</b>	<b>0,928002</b>	

*A - potravinářská pro pekárenské využití*

*B - pečivářská*

*C - pro speciální využití*

*Statisticky významné rozdíly jsou vyznačeny červeně*

Ve stravitelnosti dusíkatých látek dle pekařské jakosti je významný statistický rozdíl mezi jakostmi B a C, A a C, je tedy možné zamítnout nulovou hypotézu. Mezi jakostmi A a B není významný statistický rozdíl, není tedy možné zamítnout nulovou hypotézu.

## 6 Diskuze

K analýze stravitelnosti škrobu a dusíkatých látek bylo použito 22 vzorků různých odrůd pšenice o rozdílné jakosti a technologickém zpracování, konkrétně se jednalo o extrudované a neextrudované vzorky.

Stanovení stravitelnosti škrobu a dusíkatých látek probíhalo pomocí analýzy *in vitro*, která je z dostupných metod měření rychlá a téměř přesná. Nicméně výsledné hodnoty nelze použít jako podklad pro praktické využití. Z tohoto důvodu se k porovnání využívá zjištěných standardizovaných hodnot metodou *in vivo*, která je sice přesnější, ale časově náročnější. Pro využití hodnot získaných *in vitro* analýzou je možné využít regresní rovnice vycházejících ze statistického srovnání dat *in vitro* a *in vivo* analýz regresní a korelační analýzou.

Celkově nejlepších výsledků průměrné stravitelnosti škrobu (viz Graf 1) dosáhla odrůda Steffi s průměrnou stravitelností 90,3 %, naopak nejnižší hodnotu v průměru měla odrůda Reform R2 s 30,8 % stravitelnosti. Co se týká extrudovaných vzorků pšenice (viz Tab. 3), tak tam měla v průměru nejlepší hodnoty odrůda Bonanza E se stravitelností 86,9 %, naopak nejnižších hodnot dosahovala odrůda Yetti Y3 s 44,6 %. U neextrudovaných odrůd (viz Tab. 4) byla nejvyšší stravitelnost zaznamenána u odrůdy Steffi (90,3 %) a nejnižší u Reform R2 (30,8%).

Výsledky u stravitelnosti dusíkatých látek (viz Graf 2) ukazují na nejlepší průměrnou stravitelnost u odrůdy Tobak s 72,7 %, nejnižších hodnot pak dosahovala odrůda Grizzly (43,6 %). U extrudovaných vzorků byla nejlepší průměrná stravitelnost dusíkatých látek (viz Tab. 5) u odrůdy Tobak E (72,2 %) a nejnižší u odrůdy Vanessa E (45,8 %). Průměrná stravitelnost neextrudovaných vzorků pšenice (viz Tab. 6) byla nejvyšší u odrůdy Tobak (72,7 %) a nejnižší u odrůdy Grizzly (43,5 %).

U vybraných odrůd Grizzly, Reform a Yetti byly kromě neextrudované formy zařazeny také další 3 extrudované vzorky s rozdílnými podmínkami inkubace. Z těchto variant byla zkoumána ideální varianta. Z pohledu stravitelnosti škrobu vyšla celkově jako nejlepší odrůda Grizzly (viz Graf 1) a u stravitelnosti dusíkatých látek (viz Graf 2) odrůda Reform. Konkrétně se jednalo o varianty Grizzly G1 (86,5 %) a Reform R2 (64,8 %).

Podle rozdělení jakosti odrůd (viz Tab. 7, 8) byla v průměru z kategorie A nejlepší odrůda Reform R1 (60,8 %) ve stravitelnosti škrobu a odrůda Reform ve stravitelnosti dusíkatých látek. U kategorie B to byla v průměrné stravitelnosti škrobu odrůda Steffi (90,3 %) a dusíkatých látek odrůda Tobak 72,7 %). U poslední kategorie C ve stravitelnosti

škrobu vyšla jako nejlepší odrůda Bonanza E (86,9 %) a u dusíkatých látek odrůda Yetti (63,9 %).

Dle výsledných hodnot stravitelnosti vybraných odrůd pšenice škrobu bylo zjištěno, že úprava pšenice metodou extruze zlepšuje dostupnost škrobu (viz Tab. č. 9) a ovlivňuje ji rovněž konkrétní pekařská jakost (viz Tab. 11). Lepší stravitelnost škrobu pomocí extruze a obecně teplených úprav potvrzují také Carré et al. (2002). Toto zjištění se ovšem statisticky nepotvrdilo u stravitelnosti dusíkatých látek (viz Tab. 10), kde extruze zřejmě nemá výrazný vliv na jejich lepší dostupnost, ovšem v pekařské jakosti jistý rozdíl mezi kategoriemi byl zaznamenán (viz Tab. 12).

Na výslednou stravitelnost škrobu nemusí mít vždy vliv variabilita pšenice (odrůda, jakost), ale mohou se zde podílet faktory, jakými jsou například tvrdost pšenice a podíl jemných částic. Carré et al. (2002) a Péron et al. (2007) se shodují v tom, že pokud je pšenice příliš tvrdá a hrubě namletá, může být pro enzymy hůře přístupná a poskytnout tak nepřesné výsledky analýzy. Čím je tedy krmivo jemněji umleté, tím větší je přesnost *in vitro* techniky při odhadování stravitelnosti *in vivo*. Zároveň je lepší přístup enzymů ke stravitelným živinám. Ovšem Gutiérrez-Alalmo et al. (2008) dodává, že tvrdé pšenice naopak mohou mít pozitivní vliv na růst a hrubé částice na lepší peristaltiku střev. Pšenice použité k naší analýze byly umlety na mlýnku se sítím o průměru 1 mm, což mohlo ovlivnit výsledné hodnoty stravitelnosti.

Potencionální příčiny nízké stravitelnosti škrobu může způsobovat také poměr amylózy a amylopektinu, podíl škrobových zrn (velikost, tvar), obsah lipidů a proteinová matrice, která obklopuje škrobová zrna (Svihus et al. 2001).

Předpokládá se totiž, že existuje mezi obsahem proteinu a škrobu inverzní vztah (Kim et al. 2003). To by vysvětlovalo proces, kdy proteiny obklopující škrobové granule musí být nejprve degradovány, aby byl škrob přístupný štěpení amyláz. Protein tvoří tedy určitou fyzikální bariéru, která brání štěpení škrobu. Existuje důkaz, že proteinová matrice je hlavním faktorem zodpovědným za rozdíly v trávení škrobu v batoru (McAllister et al. 1993). To však nebylo prokázáno u brojlerů, protože nízká stravitelnost škrobu by byla doprovázena snížením stravitelnosti proteinů, ale neexistují žádné důkazy pro tuto vazbu (Wiseman 2006).

Gracia et al. (2003) také pozorovali významný nárůst stravitelnosti škrobu, když byla do krmné dávky přidána  $\alpha$ -amyláza. Znamenalo by to, že sekrece  $\alpha$ -amylázy může být limitujícím faktorem stravitelnosti.

Na základě předložené literatury se zdá, že nutriční hodnota pšeničného zrna nelze jednoznačně předpovědět z dosud měřených znaků. Ovšem vnitřní a vnější faktory jsou stále široce studovány spolu s určitými charakteristikami stravitelnosti, a je zřejmé, že všechny zmíněné faktory mohou ovlivňovat jak energetickou hodnotu pšenice, tak výkonnost zvířat.

Obecně existuje velká variace mezi analyzovanými vzorky krmiva. Z tohoto důvodu jsou nezbytné analýzy pomocí testů *in vitro*, aby bylo možné předpovědět stravitelnost jednotlivých složek krmiva. Pro tento účel bylo provedeno mnoho studií, ale ve většině případů jsou podmínky analýz (teplota, pH, inkubace) pro predikci stravitelnosti například drůbeže uzpůsobeny těm v trávicím traktu savců. To může mít za následek ovlivnění výsledné hodnoty stravitelnosti, protože například pepsin získaný z trávicího traktu prasat se běžně používá bez ohledu na analyzovaný druh zvířete, přestože některé studie prokázaly, že pepsiny z odlišných druhů zvířat vykazují rozdílné enzymatické vlastnosti.

V praxi tedy výsledky naznačují, že podmínky *in vitro* hydrolýzy použité pro hodnocení stravitelnosti mohou být definovány pro každý druh zvířete, ovšem měl by být použit vhodný enzym (odvozený od sledovaného druhu zvířete) a zohlednit při tom podmínky teploty, pH a inkubace analýzy.

## 7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjištění *in vitro* stravitelnosti škrobu a dusíkatých látek u vybraných odrůd pšenice upravených extruzí a jejich využití jako krmiva pro drůbež.

Všech 22 vzorků pšenice se podrobilo analýze stanovení škrobu a dusíkatých látek před a po inkubaci *in vitro* a následně byly hodnoty statisticky vyhodnoceny.

Pomocí analýzy a inkubace *in vitro* byla zjištěna stravitelnost dusíkatých látek, která se v průměru pohybovala v rozmezí 40 – 70 %. Výsledky ukázaly, že extruze pšenice na stravitelnost dusíkatých látek neměla významný vliv. Významnější rozdíl byl pozorován u odrůd pšenice rozdělených dle pekařské jakosti, kde byly prokázány rozdíly mezi třídou jakosti B a C, A a C.

Analýzou a následnou inkubací se rovněž stanovila stravitelnost škrobu u jednotlivých odrůd, která kolísala od 30 do 90 %. Oproti dusíkatým látkám byl u škrobu pozorován významný statistický rozdíl jak mezi extrudovanými odrůdami pšenice, tak pekařskou jakostí pšenice.

Z výsledků tedy plyne, že extruze pšenice je přínosná pro lepší dostupnost a využití škrobu v trávicím traktu zvířat, stejně tak je podstatná pekařská jakost pšenice. Ovšem u stravitelnosti dusíkatých látek nebyl tento jev statisticky prokázán.

Využití extrudované pšenice pro výživu drůbeže je tedy dle výsledků možné doporučit v případě lepšího využití energetického potenciálu škrobu, konverze krmiva, případně rychlosti růstu kuřecích brojlerů, nikoliv však pro lepší využití dusíkatých látek.

Hypotéza lepší stravitelnosti pomocí extruze se tedy potvrdila pouze v případě škrobu, u dusíkatých látek hypotéza nebyla potvrzena.

## 8 Literatura

- Bedford MR, Classen HL. 1993. An *in vitro* assay for prediction of broiler intestinal viscosity and growth when fed rye-based diets in the presence of exogenous enzymes. *Poultry Science* **72**:137-143.
- Bedford MR, Scott TA, Silversides FG, Classen HL, Swift ML, Pack M. 1998. The effect of wheat cultivar, growing environment, and enzyme supplementation on digestibility of amino acids by broilers. *Canadian Journal of Animal Science* **78**:335-342.
- Black JL, Hughes RJ, Nielsen SG, Tredrea AM, MacAlpine R, Van Barneveld RJ. 2005. The energy value of cereal grains, particularly wheat and sorghum, for poultry. *Australian Poultry Science Symposium* **17**:21–29.
- Boisen S, Eggum BO. 1991. Critical evaluation of *in vitro* methods for estimating digestibility in simple-stomach animals. *Nutrition Research Reviews* **4**:141-162.
- Brouns F, Hemery Y, Price R, Anson NM. 2012. Wheat aleurone: Separation, composition, health aspects, and potential food use. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **52**:553–568.
- Bullerman LB, Bianchini A, Hanna MA, Jackson LS, Jablonski J, Ryu D. 2008. Reduction of fumonisin B in corn grits by singlescrew extrusion. *Journal of Agricultural Food Chemistry* **56**:2400–2405.
- Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* **302**:1–17.
- Cakmak I, Pfeiffer WH, McClafferty B. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry* **87**:10–20.
- Carré, B, Idi A, Maisonnier S, Melcion JP, Oury FX, Gomez J, Pluchard P. 2002. Relationships between digestibilities of food components and characteristics of wheats (*Triticum aestivum*) introduced as the only cereal source in a broiler chicken diet. *British Poultry Science* **43**:404-415.
- Carré B, Mignon-Grasteau S, Péron A, Juin H, Bastianelli D. 2007. Wheat value: improvements by feed technology, plant breeding and animal genetics. *World's poultry science Journal* **63**:585-596

- Carré B, Muley N, Gomez J, Oury FX, Laffitte E, Guillou D, Signoret C. 2005. Soft wheat instead of hard wheat in pelleted diets results in high starch digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science* **46**: 66-74.
- Cazzaniga D, Basilico JC, Gonzalez RJ, Torres RL, de Greef DM. 2001. Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour. *Letters in Applied Microbiology* **33**:144–147.
- Clunies M, Leeson S. 1983. *In vitro* estimation of dry matter and crude protein digestibility. *Poultry Science* **63**:89-96.
- Cornell HJ, Hvering AW, Chryss A, Rogers M. 1994. Particle size distribution in wheat starch and its importance in processing. *Starch-Stärke* **46**:203-207.
- Créviu-Gabriel I, Gomez J, Caffin JP, Carré B. 1999. Comparison of pig and chicken pepsins for protein hydrolysis. *EDP Sciences* **39**:443-454.
- Černý H. 2005. *Anatomie domácích ptáků. Metoda*, Brno.
- Dhital S, Dolan G, Stokes JR, Gidley MJ. 2014. Enzymatic hydrolysis of starch in the presence of cereal soluble fibre polysaccharides. *Food & Function* **5**:579–586.
- Faměra O. 2001. Význam stanovení tvrdosti zrna pšenice pro hodnocení jakosti. *Úroda* **49**:10.
- Furuya S. 1980. New *in vitro* method for estimating digestibility of animal feeds. *Japan Agricultural Research Quarterly* **14**:52-55.
- Ganjyal GM, Hanna MA. 2004. Effects of extruder die nozzle dimensions on expansion and micrographic characterization during extrusion of acetylated starch. *Starch – Stärke* **56**:108-117.
- Go'mez-Galera S, Rojas E, Sudhakar D, et al. 2010. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. *Transgenic Research* **19**:80-165.
- Gracia MI, Aranibar MJ, Lazaro R, Medel P, Mateos GG. 2003.  $\alpha$ -Amylase supplementation of broiler diets based on corn. *Poultry Science* **82**:436–442.
- Gutierrez del Alamo A, Perez de Ayala P, den Hartog LA, Verstegen MWA, Villamide MJ. 2009. Wheat starch digestion rate in broiler chickens is affected by cultivar but not by wheat crop nitrogen fertilization. *British Poultry Science* **50**:341-349.
- Gutierrez del Alamo A, Verstegen MWA, Den Hartog LA, Perez de Ayala P, Villamide MJ. 2008. Effect of wheat cultivar and enzyme addition to broiler chicken diets on nutrient



digestibility, performance and apparent metabolisable energy content. *Poultry Science* **87**:759–767.

Hetland H, Choct M, Svihus B. 2004. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal* **60**:415-422.

Horáková V. Charakteristika ukazatelů pekařské jakosti pšenice. 2006. *Úroda* **54**:10-11.

Hřivna L, Kryštof Z. 2002. Výživa rostlin pšenice a kvalita produkce. *Úroda* **11**:21-23.

Chao-Chi Chuang G, Yeh AI. 2004. Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking. *Journal of Food Engineering* **63**:21-31.

Christmas RB, Harms RH, Sloan DR. 1995. The absence of vitamins and trace minerals and broiler performance. *The journal of applied poultry research* **4**:407-410.

Ježková A. 2016. Využití extrudovaných krmiv ve výživě zvířat. *Krmivářství* **14**:22-23.

Jiménez-Moreno E, González-Alvarado J., González-Sánchez D, Lázaro R, Mateos G. 2010. Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age. *Poultry Science* **89**:2197–2212.

Khattak FM, Pasha TN, Hayat Z, Mahmud A. 2006. Enzymes in poultry nutrition. *Journal of animal and plant sciences* **16**:1-2.

Kim JC, Mullan BP, Simmins PH, Pluske JR. 2003. Variation in the chemical composition of wheats grown in Western Australia as influenced by variety, growing region, season, and postharvest storage. *Australian Journal of Agricultural Research* **54**:541-550.

Larbier M, Leclercq B. 1994. *Nutrition and feeding of poultry*. Nottingham University Press, 1994.

Losada B, García-Rebollar P, Cachaldora P, Álvarez C, Méndez J, de Blas JC. 2009. A comparison of the prediction of apparent metabolisable energy content of strachy grains and cereal by-products for poultry from its chemical components, in vitro analysis or near-infrared reflectance spectroscopy. *Spanish Journal of Agricultural Research* **4**:813-823.

Loučka R. 2011. Možnost hodnocení silážních hybridů. *Zemědělec* **19**:11-13.

Maisonnier S, Gomez J, Chagneau AM, Carré B. 2001. Analysis of variability in nutrient digestibilities in broiler chickens. *British Poultry Science* **42**:70-76.

- Maroušek J. 2011. Využití tepla vzniklého při výrobě bioplynu k extruzi. *Krmivářství* **15**:37-38.
- McAllister TA, Phillippe RC, Rode LM, Cheng KJ. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *Journal of Animal Science* **71**:205-212.
- McCracken KJ, Preston CM, Butler C. 2002. Effects of wheat variety and specific weight on dietary apparent metabolisable energy concentration and performance of broiler chicks. *British Poultry Science* **43**:253–260.
- Niu ZY, Classen HL, Scott TA. 2003. Interaction of wheat micronization and cultivar on its feeding value for broilers. *Canadian Journal of Animal Science* **83**:123-129.
- Novotný F, Jurečka D, Hubík K. 2000. Hodnocení jakosti potravinářské pšenice pro pečivářenské využití. *Úroda* **48**:34-35
- Oury FX, Carré B, Pluchard P, Bérard P, Nys Y, Leclercq B. 1998. Genetic variability and stability of poultry feeding related characters in wheat, in relation to environmental variation. *Agronomie* **18**:139-150.
- Péron A, Bastianelli D, Oury FX, Gomez J, Carré B. 2005. Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed a pelleted diet. *British Poultry Science* **46**:223-230.
- Pesti GM, Bakalli RI, Driver JP, Atencio A, Foster EH. 2005. Poultry nutrition and feeding. Trafford publishing, Georgia.
- Petr J. 2001. Pěstování pšenice podle užitkových směrů. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Pirgozliev VR, Birch CL, S. P. Rose SP, Kettlewell PS, Bedford MR. 2003. Chemical composition and the nutritive quality of different wheat cultivars for broiler chickens. *British Poultry Science* **44**:464–475.
- Prisenžňáková L, Nosál'ová, G, Hromádková Z, Ebringerová A. 2010. The pharmacological activity of wheat bran polysaccharides. *Fitoterapia* **81**:1037–1044.
- Prugar J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV, Praha.
- Příhoda J, Skřivan P, Hrušková M. 2003. Cereální chemie a technologie. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.

- Ravindran V, Bryden WL. 1999. Amino acid availability in poultry-*in vitro* and *in vivo* measurements. *Australian Journal of Agricultural Research* **50**:889-908.
- Reece OW. 2009. *Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat*. Grada Publishing, Praha.
- Rytina L. 2012. Osm let s extruzí sóji. *Krmivářství* **14**:7-8.
- Santala O, Kiran A, Sozer N, Poutanen K, Nordlund E. 2014. Enzymatic modification and particle size reduction of wheat bran improves the mechanical properties and structure of bran-enriched expanded extrudates. *Journal of Cereal Science* **60**:448-456.
- Scudamore K, Guy RCE, Kelleher B, MacDonald SJ. 2008. Fate of Fusarium mycotoxins in maize flour and grits during extrusion cooking. *Food Additives & Contaminants* **25**:1374–1384.
- Shewry PR, 2007. Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science* **46**:239–250.
- Sklan D. 2001. Development of the digestive tract of poultry. *World's poultry science journal* **57**:76-100.
- Sozer N, Cicerelli L, Heiniö RL, Poutanen K. 2014. Effect of wheat bran addition on *in vitro* starch digestibility, physico-mechanical and sensory properties of biscuits. *Journal of Cereal Science* **60**:105–113.
- Steenfeldt S. 2001. The dietary effect of different wheat cultivars for broiler chickens. *British Poultry Science* **42**:595–609.
- Svihus B. 2001. A consistent low starch digestibility observed in pelleted broiler chicken diets containing high levels of different wheat varieties. *Animal Feed Science and Technology* **92**:45-49.
- Svihus B, Edvardsen DH, Bedford MR, Gullord M. 2000. Effect of methods of analysis and heat treatment on viscosity of wheat, barley and oats. *Animal Feed Science and Technology* **88**:1-12.
- Šottníková V, Hřivna L, 2006. Adaptabilita výnosu a mlynářské kvality zrna vybraných drůb pšenice ozimé. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **4**:99-109.
- Tupý P. 2015. Zásady výživy brojlerů. *Krmivářství* **19**:20-23.

- Turnbull KM, Rahman S. 2002. Endosperm texture in wheat. *Journal of Cereal Science* **36**:327-337.
- Turner AS, Bradburne RP, Fish L, Snape JW. 2004. New quantitative trait loci influencing grain texture and protein content in bread wheat. *Journal of Cereal Science* **40**:51-60.
- Úřední věstník Evropské unie. 2009. Nařízení komise evropského společenství č. 152/2009 ze dne 27. ledna 2009, kterým se stanoví metody odběru vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv. Available from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R0152-20140101&from=ES> (accessed April 2019).
- Vollmanová A, Musilová J, Urminská D a kol. 2018. *Chémia potravín*. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra.
- Weurding RE, Veldman A, Veen WAG, Van der Aar PJ, Verstegen MWA. 2001. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. *The Journal of Nutrition* **131**:2329–2335.
- Wiseman J. 2006. Variations in starch digestibility in non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology* **130**: 66-77.
- Wu YB, Ravindran V, Thomas DG, Birtles MJ, Hendriks WH. 2004. Influence of method of whole wheat inclusion and xylanase supplementation on the performance, apparent metabolisable energy, digestive tract measurements and gut morphology of broilers. *British Poultry Science* **45**:385-394.
- Xiaoguang Y, Ran Y, Ye Ch. 2015. Blasting extrusion processing: The increase of soluble dietary fiber content and extraction of soluble-fiber polysaccharides from wheat bran. *Food Chemistry* **180**:106-115.
- Zelenka J. 2014. *Výživa a krmení drůbeže*. Agriprint, Olomouc.
- Zelenka J, Heger J, Zeman L. 2007. *Doporučený obsah živin v krmných směsích a výživná hodnota krmiv pro drůbež*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Zeman L, Doležal P, Horký P. 2014. Vliv termických úprav krmiv na jejich kvalitu. *Krmivářství* **18**:17-19.
- Zeman L, Štenclová H, Karásek F, Mrkvicová E, Ph.D., Doležal P. 2015. *Zásady efektivního výkrmu brojlerů*. *Krmivářství* **19**:18-19, 2015.

Ziggers D. 2012. Mycotoxin binders achieve less than promised. All about feed. Mycotoxin special. **11**:33-34

Zimolka J. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, Praha.

