Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky

Ověření možnosti stanovení stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu metodou NIR

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Eliška Humplová

Obor studia: Výživa a dietetika zvířat

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

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Ověření možnosti stanovení stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu metodou NIR" 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 neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10.4.2019 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Vladimíru Plachému, Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Děkuji za čas, který mi poskytl, za cenné rady a připomínky k mé práci. Také bych ráda poděkovala své rodině za trpělivost a pomoc, kterou mi poskytli.

Ověření možnosti stanovení stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu metodou NIR

Souhrn

Produkce jatečné drůbeže se v České republice každým rokem dynamicky rozvíjí. Drůbež se vykrmuje poměrně krátkou dobu, proto se v jejím mase ukládá méně škodlivých látek než u ostatních druhů hospodářských zvířat. Drůbeží maso má optimální dietetické vlastnosti, je vhodné pro rychlou úpravu a patří k nejlevnějším druhům masa. Drůbeží maso je skvělým zdrojem bílkovin a obsahuje málo tuku. Také obsahuje vitamíny skupiny B niacin a pyridoxin, zajišťuje přísun selenu a fosforu. Výhodou je i vysoká stravitelnost živin, a proto je toto maso tak oblíbené. Brojleři jsou určeni pro rychlý výkrm. Aby byl výkrm co nejúčinnější, je důležité podávat zvířatům krmné směsi, které zabezpečí dostatečný příjem živin.

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) je 3. nejrozšířenější obilovinou, která má zásadní vliv ve výživě drůbeže. V krmných směsích může zaujímat až 50 % celkového obsahu.

Předmětem této práce je snaha zjistit, zda je možné určit stravitelnost hrubého proteinu a škrobu pomocí metody blízké infračervené spektroskopie (NIR).

U 20 vzorků pšenice a následně 20 vzorků trávenin se pomocí chemické analýzy stanovila stravitelnost hrubého proteinu a škrobu. Vše se pak znovu vyhodnocovalo pomocí přístroje NIR.

Hypotéza, že pomocí metody blízkého infračerveného spektra je možné určovat stravitelnost hrubého proteinu a škrobu se potvrdila. U predikce stravitelnosti NL vycházel koeficient determinance lépe u krmiv než u trávenin (0,8527 / 0,8465). Pro predikci stravitelnosti NL je tedy lepší použit přímo krmiv, ale výsledky nejsou o tolik rozdílné. U predikce stravitelnosti škrobu vycházel rozhodně lepší koeficient determinace pro tráveniny než pro krmiva (0,8632 / 0,6927). Pro predikci stravitelnosti škrobu je lepší použít tráveniny.

Stravitelnost dusíkatých látek vychází v intervalu od 47,70 % do 81,88 %. Nejvyšší hodnota stravitelnosti vychází u odrůdy Tobak (81,88 %), která patří ke komerčním pšenicím. Nejnižší hodnotu stravitelnosti měla odrůda Waxypen, a to pouze 47,70 %. Stravitelnost škrobu se pohybuje v intervalu 79,24 % až 96,64 %. Nejnižší stavitelnost vychází u odrůdy 113, kterou následuje odrůda Vanessa (80,42 %). Nejvyšší stravitelnost je u odrůdy 104 a na druhém místě je odrůda Steffi se stravitelností 93,78 %. U waxy pšenic se projevil menší obsah NL i jejich stravitelnost. Pokud rozdělíme pšenice do skupin, u waxy pšenic vychází nejmenší průměrná stravitelnost (57,34 %). I když jsou výsledky škrobu lepší, waxy pšenice nejsou zcela vhodné

ke zkrmování brojlerům. Ostatní skupiny (s žitnou translokací či bez, jarní pšenice nebo komerční) jsou vhodnější.
Klíčová slova: stravitelnost, pšenice, protein, škrob, kuřecí brojleři

Verification of the possibility of determining the digestibility of crude protein and starch by NIR method

Summary

The production of poultry for slaughter is growing dynamically every year in the Czech Republic. Poultry are fattened for a relatively short time, so less harmful substances are stored there than in other meats. Poultry meat has optimal dietary properties and is suitable for quick cooking and is one of the cheapest types of meat. Poultry meat is a great source of protein and contains little fat. It also contains B-group vitamins niacin and pyridoxine, supplying selenium and phosphorus. The advantage is also light digestibility, therefore this meat is very popular. Broilers are intended for fast fattening. To make fattening as effective as possible, it is important to feed the animals with sufficient nutrient intake.

Wheat (Triticum aestivum) is the 3rd most widespread cereal that has a major impact on poultry nutrition. In compound feed, it can cover up to 50 % of the total volume.

The aim of this work is to find out whether it is possible to determine the digestibility of crude protein and starch using the near infrared spectroscopy (NIR) method.

The digestibility of crude protein and starch was determined by chemical analysis in 20 wheat samples followed by 20 digestion samples. Everything was then re-evaluated with the NIR.

The hypothesis that it is possible to determine the digestibility of coarse protein and starch using near-infrared spectra was confirmed. For the predictability of NL digestibility, the coefficient of determination was better for feed than for digestive (0.8527 / 0.8465). Thus, for predicting the digestibility of NL, it is better to feed directly, but the results are not so much different. The starch digestibility prediction was definitely based on a better determination coefficient for digestion samples than for feed (0.8632 / 0.6927). For predicting starch digestibility, it is better to use digestive agents.

The digestibility of crude protein is reported in the range of 47.70 % to 81.88 %. The highest digestibility is within the Tobak variety (81.88 %), which belongs to commercial wheat. The lowest digestibility value had Waxypen variety, only 47.70 %. Starch digestibility ranges from 79.24 % to 96.64 %. The highest digestibility is for the 104 variety and the second is Steffi with 93.78 % digestibility. Waxy wheat showed less NL content and digestibility. If we divide wheat into groups, the waxy wheat variety had the lowest average digestibility (57.34 %).

Although the result of starch digestibility is better, waxy wheat is not entirely suitable for feeding broilers. Other groups (with or without rye translocation, spring wheat or commercial) are preferable.
Keywords: digestibility, wheat, protein, starch, broiler chickens

Obsah

1 Úvod 1

2 Vědecká hypotéza a cíl práce 2

2.1 Cíl práce 2

2.2 Hypotéza 2

3 Literární rešerše 3

3.1 Drůbež 3

3.1.1 Mechanismy řízení příjmu krmiva 3

3.1.2 Technologie krmení 4

3.2 Trávicí trakt drůbeže 5

3.2.1 Trávení ve voleti 7

3.2.2 Trávení v žaludku 8

3.2.3 Trávení v tenkém střevě 9

3.2.4 Trávení v tlustém střevě 10

3.2.4.1 Definice klasické metody používané pro zjištění stravitelnosti krmiva 11

3.2.4.2 Definice indikátorové metody používané pro zjištění stravitelnosti krmiva 12

***3.3* Pšenice setá *(Triticum aestivum L.)* 13**

3.3.1 Nutriční složení pšenice 15

3.3.2 Stravitelnost pšenice 15

3.4 Sledované živiny ve výživě drůbeže 16

3.4.1 Energie 16

3.4.2 Hrubý protein 18

3.4.3 Škrob 20

3.5 Metoda NIR 22

3.5.1 Popis 22

3.5.2 Výhody a nevýhody 23

4 Metodika a materiál 25

4.1 Popis zkoušených vzorků pšenice 25

4.2 Stanovení oxidu chromitého 26

4.2.1 Stravitelnost živin: Indikátorová metoda 27

4.3 Stanovení dusíkatých látek metodou podle Kjeldahla 28

4.4 Stanovení sušiny 29

4.5 Stanovení škrobu v obilovinách a potravinách bez obsahu resisantního škrobu, D – glukosy a/nebo maltodextrinů 29

4.6 Stanovení škrobu ve vzorcích, které obsahují D-glukosu a/nebo maltodextriny 29

4.7 Použití metody NIR 31

4.8 Statistické vyhodnocení 31

5 Výsledky 32

5.1 Sledované živiny u pšenice 32

5.2 Statistické vyjádření výsledku 37
5.3 Výsledky NIR měření 39
5.3.1 Výsledky NIR pro stravitelnost NL u krmiv 39
5.3.2 Výsledky NIR pro stravitelnost NL u trávenin 42
5.3.3 Výsledky NIR pro stravitelnost škrobu u krmiv 45
5.3.4 Výsledky NIR pro stravitelnost škrobu u trávenin 48
6 Diskuse 51
7 Závěr 57
8 Seznam literatury 58
9 Seznam použitých zkratek 62
10 Seznam příloh 63

1 Úvod

Pšenice je přidávána ve velkém množství (50 % i více) do krmných směsí pro brojlery, jejichž maso patří mezi jedno z nejoblíbenějších. Poptávka po kuřecím mase celosvětově roste a s tím souvisí i nároky na producenty krmiv. Ti hledají nejvhodněji sestavenou a upravenou krmnou směs, která by naplnila živinové požadavky vykrmovaných zvířat, vzhledem ke zvýšené intenzitě růstu.

Pro chovatele je důležitý obsah bilančně metabolizovatelné energie (AME), hrubého proteinu a škrobu. U hrubého proteinu a škrobu je dobré znát hodnotu stravitelnosti. Ta se zjišťuje pomocí tzv. „mokrých“ chemických analýz, které jsou nejpřesnější. Stanovení se provádí na samotném krmivu, což je v tomto případě pšenice, a také na tráveninách, které se získávají z poslední části tenkého střeva (*ilea*) brojlerů. I když takto získané výsledky mají vysokou vypovídací hodnotu o kvalitě škrobu a hrubého proteinu, velkou nevýhodou je relativně velká časová náročnost získání výsledků. Nejdříve je nutné připravit směsi smícháním pokusného materiálu s indikátorem stravitelnosti, dále po minimálně třech dnech bilančního pokusu odebrat obsah tenkého střeva a v lyofilizovaném materiálu stanovit obsah sledované živiny a indikátoru stravitelnosti. Teprve ze získaných hodnot je možné vypočítat koeficienty stravitelnosti.

Výsledky, které tyto chemické analýzy poskytnou, jak u hrubého proteinu, tak u škrobu, je možné dále použít ke zjištění, zda se stravitelnost obou dvou parametrů dá určit pomocí NIR technologie.

Výhodou NIR technologie je nenáročná příprava vzorků, rychlost stanovení a možnost získání více výsledků z jednoho měření. Na druhou stranu je nutné uvést, že ne všechny živiny je možné pomocí technologie NIR stanovit s dostatečnou přesností.

2 Cíl práce a vědecká hypotéza

2.1 Cíl práce

Vytvoření databáze, která je, na základě srovnání s chemickými analýzami, schopna detekovat a zobrazovat hodnoty stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu.

2.2 Hypotéza

Pomocí metody blízkého infračerveného spektra je možné určovat stravitelnost hrubého proteinu a škrobu.

3 Literární rešerše

3.1 Drůbež

V celém období chovu drůbeže jsou zvířata vystavena různým faktorům, které ovlivňují jejich organismus a mají zásadní vliv na fyziologické funkce. Těmto faktorům se přizpůsobují, ale je i na chovateli je pozorovat a optimalizovat je tak, aby byly co nejlépe nastaveny a podporovaly správný vývoj organismu a zachovávaly jeho zdraví (Zelenka & Zeman 2006). Dnešní doba se zaměřuje na vysokou živočišnou výrobu s nízkými náklady a vysokou kvalitou. Vysoká produktivita je možná pouze tehdy, pokud ptáci vykazují optimální střevní zdraví. To je důležité pro správné využití krmné směsi ať je sebelepší, pro optimální přírůstek hmotnosti a konverzi krmiva (Bonfim de Oliveira et al. 2017). Dale et al. (2012) definuje krmivo jako směs chemických, fyzikálních a strukturních vlastností, které určují jeho kvalitu a také dostupnost živin pro cílová zvířata. Kvalita krmiva není jenom jeho nutriční hodnota, ale také jeho příjem. Jelikož se živinová charakteristika mění podle zralosti jednotlivých rostlin je zapotřebí provádět analýzy, které určí, zda dané krmivo splní výživové požadavky zvířete.

3.1.1 Mechanismy řízení příjmu krmiva

Primární místo, které odpovídá za řízení systému příjmu krmiva je centrální nervová soustava (CNS). Konkrétně není jasné, které struktury mozku jsou důležité při regulaci příjmu krmiva a vody. Kontrola příjmu krmiva a regulace energetické bilance je ovlivněna řadou faktorů. Regulace energetického obsahu v těle je propojena s regulací příjmu krmiva. Propojením těchto regulací dochází za normálních podmínek k udržování rovnovážného stavu energie v těle. Při vychýlení podmínek dochází k nadměrnému přírůstku nebo naopak ke ztrátě hmotnosti. Tyto stavy mohou vést k metabolickým poruchám nebo neefektivní produkci.

Faktory, které mají vliv na příjem krmiva dělíme na vnější a vnitřní. Vnějšími faktory jsou například okolní podmínky, smyslové vnímání zvířete nebo obsah živin v krmivu. K vnitřním činitelům patří samotné gastrointestinální faktory zvířete, obsah hormonů a metabolitů.

Nejčastěji využívaný systém ke krmení brojlerů je tzv. ad libitum. Faktory, které mají u drůbeže významný vliv na spotřebu krmiva jsou například hmotnost či objem přijatého krmiva a obsah energie nebo bílkovin. Periferní receptory v horním zažívacím traktu slouží jako důležité regulátory příjmu krmiva a předpokládá se, že jsou vzájemně propojeny přes neurony s hypotalamem (National academy press, 1987).

Podle Zelenky et al. (2007) rozhoduje o množství přijatého krmiva při krmení ad libitum nejvíce koncentrace energie. Zvíře příjme tolik krmiva, aby pokrylo svou vlastní potřebu energie. Proto se zachovává stálý poměr mezi obsahem MEn a obsahem živin v krmné dávce. Pokud se stane, že koncentrace MEn bude nižší, musí se snížit koncentrace ostatních živin, aby nedošlo k překrmování zvířat. Naopak při zvýšené MEn se musí zvýšit obsah esenciálních živin, aby zvíře netrpělo nedostatkem.

3.1.2 Technologie krmení

Podle Zelenky & Zeman (2006) se u drůbeže vyskytuje minimum chuťových pohárků. Z toho mála jsou nejvíce citlivé pohárky na kyselou chuť, a naopak málo na slanou. Výběr krmiva neprobíhá podle chemorecepčních faktorů, ale podle mechanorecepčních a optických faktorů jako jsou tvar krmiva, velikost částic nebo barva.

U kompletně sestavených směsí určených pro drůbež musí být povinně určen obsah NL, tuku, vlákniny, popela a methioninu. K nepovinným parametrům patří hodnota ME, obsah lysinu, cysteinu, tryptofanu, škrobu, vápníku, sodíku, hořčíku, draslíku a fosforu (Zelenka et al. 2007).

Pro správné využití živin z krmiva má velikost částic velký význam. Optimalizuje využití krmiva a zlepšuje efektivitu produkce brojlerů. Snížení velikosti částic zlepšuje přístup trávicích enzymů díky zvýšené ploše krmných částic. Tím se zlepšuje trávení i absorpce. Výsledky studií, které zkoumaly vliv velikostí částic krmiva na horní gastrointestinální trakt nejsou jednoznačné, a to kvůli různým formám použitého krmiva (šrot x granule) (Zaefarian et al. 2016; Mateos et al. 2018). Wiseman (2006) popisuje vývoj nových blízkých izogenních linií pšenice nebo přinejmenším linií úzce příbuzných geneticky, které jsou si velmi podobné s výjimkou klíčových charakteristik, a to především tvrdosti. Tvrdost endospermové struktury je dána interakcí mezi bílkovinou a škrobem. Při použití tvrdší pšenice byla prokázána menší stravitelnost než u měkké.

U granulovaných směsí jsou výhody i nevýhody se kterými je třeba počítat. Nevýhodami jsou vyšší investiční i provozní náklady, které souvisí s tvarováním krmiv a také se může porušit část vitaminů či některé další živiny obsažené v krmivech. Při zkrmování granulí hrozí také větší riziko výskytu kanibalismu. K výhodám patří snížení objemu a tím zlepšení nároků na dopravu, manipulaci a skladovací prostory. Také se zvýší spotřeba krmiva při krmení ad libitum. Granule jsou pro drůbež více lákavé a přijmou více energie než ve směsi netvarované. Další výhody jsou menší ztráty při skladování, menší prašnost a nemožnost si vybírat jen určité komponenty či ty více chutné. Ovšem příprava obzvláště malých granulí je

velmi náročná, proto se klasické granule rozdrobí na válcovém drtiči na drť, která se potom přes síto vytřídí na určitou požadovanou velikost (Zelenka & Zeman 2006). Hetland et al. (2002) napsali, že u větších či dokonce celých částic pšenice se může snížit příjem krmiva, což může být způsobeno omezenou kapacitou pro broušení částic v žaludku. Tím se zpomalí průchod krmiva přes GIT. Další možností snižující příjem krmiva by mohlo být způsobení pocitu nasycenosti kvůli vysoké aktivitě žaludku. Se zvýšenou aktivitou žaludku souvisí nárůst jeho velikosti. Podle jejich výsledků tyto dva faktory příznivě působí na zvýšenou stravitelnost škrobu.

3.2 Trávicí trakt drůbeže

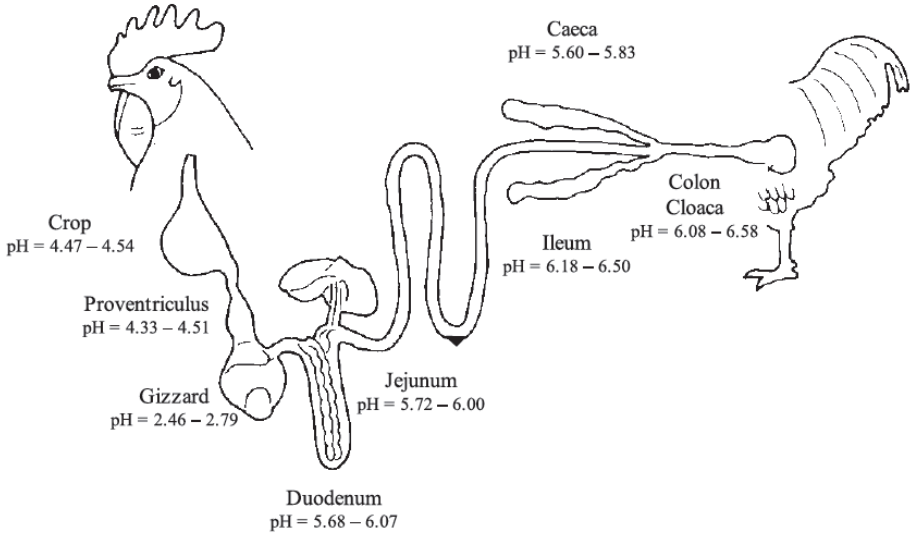
Trávicí trakt drůbeže se z anatomického hlediska skládá ze zobáku, volete, žláznatého a svalnatého žaludku, střev, párových slepých střev a kloaky (Marvan et al. 2011; Jelínek et al. 2003; Černý 2005; Reece 2011). Zobák slouží především k příjmu potravy a jeho barva je dána druhem. Tvar zobáku zase souvisí se způsobem příjmu potravy. Přijatá potrava je v trávicím traktu drůbeže vystavena mechanickému, chemickému a mikrobiálnímu působení stejně jako u savců. Jelínek et al. (2003) a Reece (2011) píší, že odlišnost způsobu trávení je dána rozdílnou morfologií a funkčním uspořádáním trávicího traktu.

Trávení ptáků se vyznačuje rychlejším procesem samotného trávení ale i následného vstřebávání, proto je optimální krmivo s nízkým obsahem vlákniny (Jelínek et al. 2003). Podle Apajalahti & Vienola (2016) jsou různé úseky drůbežího trávicího traktu obývány specializovanou mikroflórou, která je přizpůsobená fyzikálně chemickým podmínkám a fyziologií hostitele. Čím níže se v trávicím traktu drůbeže postupuje, tím méně možností mikroorganismy mají pro vlastní využití. Například bakterie v dolní části střeva jsou specializované na využití těch komponentů krmiva, které jsou odolné vůči endogennímu trávení, jako jsou například neškrobové polysacharidy, odolný škrob nebo protein. Mezi jednotlivými intestinálními částmi existují milionové rozdíly v hustotě bakteriálního osídlení. Nejsilnější populace je ve slepých střevech, a naopak nejmenší v proximální části tenkého střeva kvůli nízkému pH. Zelenka & Zeman (2006) popisují, že mikrobiální populace je nezbytnou součástí trávicího systému a jako příklad uvádí, že pouhý 1 den po vylíhnutí počet bakterií v lačníku dosáhne hodnoty 10^8 a ve slepých střevech 10^{10} bakterií v 1 gramu tráveniny. Po třech dnech se jejich počty zvýší na 10^9 a 10^{11}. Podle Oakley et al. (2014) a Bonfim de Oliveira et al. (2017) se v celém střevním traktu mikrobiální složení liší, to znamená, že každá část střev má vlastní mikroprostředí, kde jsou přítomny určité kolonie mikroorganismů. Složení střevní mikroflóry může být pro zvíře výhodné nebo škodlivé, v závislosti na povaze

a množství mikroorganismů. Přínosné bakterie jsou například *Lactobacillus spp, Bifidobacterium spp, Fusobacterium spp a Saccharomyces cerevisiae*, které působí jako inhibitory růstu patogenních bakterií, stimulují imunitní systém, syntetizují vitaminy, snižují produkci plynů a zlepšují trávení a absorpci živin. K škodlivým mikroorganismům patří jen cca 10 % z celkového množství. Příkladem jsou zástupci *Escherichia coli, Clostridium spp., Salmonella spp*. a další. Způsobují průjmy, infekce, poruchy jater, střevní hnilobu a snižují trávení a absorpci živin. Správný poměr mezi přínosnými a škodlivými organismy je důležitý kvůli zdraví zvířat samotných, ale v konečném důsledku hlavně pro zdraví člověka. Významní původci onemocnění u lidí jsou *Campylobacter nebo Salmonela*.

Bostami et al. (2015) a Mateos et al. (2018) ve své studii uvádí, že antibiotické růstové hormony byly ve světě zakázány, kvůli vývoji mikroorganismů rezistentních vůči antibiotikům. Jejich používání způsobovalo nerovnováhu střevní mikroflóry, závažné zdravotní problémy, jak pro zvířata, tak pro spotřebitele drůbežích produktů a neblahý dopad na životní prostředí. Jako alternativy k antibiotikům se používají probiotika, prebiotika, exogenní enzymy, antioxidanty nebo kokcidiostatika. Kombinace *Bacillus, Lactobacillus, Saccharomyces a Clostridium* je podle studií nejlepší volba, která nahradí funkci antibiotik. Tyto prospěšné mikroorganismy měly pozitivní vliv na růstový výkon brojlerů, lepší imunitu, čímž se zmenšila úmrtnost. Podle Gabriel et al. (2006) v celkovém měřítku mají bakterie spíše negativní vliv na růst ptáků. Mohou mít i vliv na kvalitu masa a vajec. Vylepšení znalostí o mikroflóře trávicího traktu může přispět k prospěšnějšímu využívání a celkovému zlepšení jak pro zvířata, chovatele, spotřebitele i životní prostředí.

Han et al. (2016) zkoumali přítomnost mikroorganismů v jednotlivých částech gastrointestinálního traktu (GIT), přesněji ve voleti, tenkém střevě a slepých střevech. Z výsledků vyplývá, že ve voleti je největší zastoupení kmenů *Cyanobacteria a Proteobacteria*. V tenkém střevě se objevilo nejvíce zástupců z kmene *Firmicutes, Baccilus a Prevotella*. Ve slepých střevech bylo největší zastoupení kmenů *Faecalibacterium, Ruminococcus a Akkermansia.* Nejmenší zastoupení vykazovali kmeny *Lactobacillus a Streptococcus*. U rodu *Bacteroides* byl pozorován přírůstkový nárůst od kraniální ke kaudální části, to znamená: vole <tenké střevo <slepá střeva.



Obrázek 1: Stručný popis částí trávicí soustavy s hodnotami pH (Gabriel 2006).

Překlad: *Crop* = vole, *Proventriculus* = žláznatý žaludek, *Gizzard* = svalnatý žaludek, *Duodenum* = dvanáctník, *Jejunum* = lačník, *Ileum* = kyčelník, *Caeca* = slepá střeva, *Colon* = tlusté střevo, *Cloaca* = kloaka

3.2.1 Trávení ve voleti

Reece (2011) uvádí, že jícen se dělí na dvě části, a to na úsek před voletem a úsek za voletem. Samotné vole je vychlípenina jícnu a má především skladovací funkci, přičemž Jelínek et al. (2003) uvádí kapacitu kolem 100 g krmiva a Černý (2005) například u kura definuje kapacitu od 75–120 gramů potravy.

Vole je na vnější straně spojeno s kožním svalem, který způsobuje rozšíření volete během příjmu krmiva. To se zde může připravovat na další trávení. Mucinózní výměšky podle Jelínka et al. (2003) neobsahují žádné enzymy, ale podle Zelenky & Zemana (2006) se u hrabavé drůbeže vyskytuje menší množství α-amylázy, díky které dochází k částečnému trávení, a to za spolupůsobení enzymů rostlinného a bakteriálního původu. Ty se získávají z přijatého krmiva nebo slin. Dochází zde k natrávení 15–20 % přijatého škrobu a mikrobiální proteolýza a lipolýza nepřekročí 10 %. Zadržení potravy ve voleti závisí na celkovém množství, konzistenci, obsahu vody, rychlosti trávicích pochodů, takže doba může být různě dlouhá. Důležitým aspektem je rychlost prostupu krmiva trávicím traktem. Například krmná směs z obilných drtí se ve voleti zdržuje přibližně jednu až tři hodiny, což je poměrně krátký čas. Pokud se jedná o celé obilí nejdříve odchází pšenice a kukuřice (Jelínek et al. 2003). Oakley et al. (2014) uvádějí, že ve voleti se vyskytují specializované mikrobiální komunity především *Lactobacillus spp*., které pomáhají se začátkem štěpení škrobu a fermentací laktátu. Vole poté přechází do prvního z žaludků (Jelínke et al. 2003).

3.2.2 Trávení v žaludku

Černý (2005) popisuje, že je žaludek morfologicky a funkčně rozdělen na tři části, a to žláznatý žaludek, svalnatý žaludek a vrátničnou část žaludku na kterou navazuje dvanáctník.

První částí je tedy žláznatý žaludek. Je celkem malý a potrava se v něm dlouho nezdržuje (Jelínek et al. 2003; Reece, 2011). Podle Jelínka et al. (2003), Černého (2005) a Zelenky & Zemana (2006) žlázový epitel tvoří jeden druh sekrečních buněk. Mají zdvojenou funkci, a to hlavní a krycí. Tyto buňky produkují kyselinu chlorovodíkovou (HCl) na apikálním konci a pepsinogen v bazální části. Z neaktivního pepsinogenu se díky HCl stane aktivní pepsin a dojde ke štěpení bílkovin na peptidy a aminokyseliny dále jen AMK. Černý (2005) uvádí, že žaludeční šťáva obsahuje ještě enzym chymozin. Žaludeční šťávy jsou vylučovány díky mechanickému dráždění sliznice potravou. Regulace vylučování je obdobná jako u savců. K nejvyššímu vylučování žaludeční šťávy u slepic dochází, když je obsah bílkovin v krmné dávce 16-18 %. Pokud klesne nebo se zvýší klesá i sekrece. Pokud srovnáme koncentraci pepsinu v žaludeční šťávě u drůbeže a savců, vyjde nám, že u drůbeže je nižší. Ovšem u drůbeže je množství pepsinu a žaludeční šťávy na 1 kg živé hmotnosti větší. Zelenka & Zeman (2006) uvádí, že pH žaludeční šťávy se pohybuje od 1,5-2,0.

Vlastní žaludeční trávení zde neprobíhá a trávenina se zde ani dlouho nezdržuje. Uskutečňuje se až v dalších částech, a to především ve dvanáctníku (duodenu). Díky rytmickým stahům svaloviny dochází k plynulému posunu žaludečního obsahu do svalnatého žaludku (Jelínek et al. 2003; Reece 2011)

Na žláznatý žaludek navazuje kaudálně žaludek svalnatý. Ten je charakterizován mohutně vyvinutou kruhovou vrstvou svaloviny (Jelínek et al. 2003). Podle Černého (2005), Zelenky (2006) a Marvana et al. (2011) je dutina žaludku vystlaná sliznicí, jejíž povrch kryje pevná a tuhá kutikula, která brání poškození sliznice žaludku nebo jejímu samonatrávení. V obsahu žaludku najdeme zrnka písku nebo drobné kaménky, které pomáhají s mechanickým zpracováním potravy. Podle Zelenky & Zemana (2006) ptáci sami úmyslně polykají drobné kaménky a dokážou je zadržet ve svalnatém žaludku. Při jejich nedostatku je v žaludku zadržují dlouho, naopak při nadbytku jsou vylučovány s výkaly. Když nejsou kaménky volně dostupné, přidávají se záměrně ve formě gritu.

Gabril et al. (2006) napsali, že v žaludku je nízké pH, které je zodpovědné za snížení počtu bakterií. Ve svalnatém žaludku se netvoří žádné vlastní trávicí šťávy. Přítomny jsou pouze ty, které se ve žláznatém žaludku promísily s krmivem anebo zůstaly jako přebytek. Krmivo je zde zpracováno mechanicky se spolupůsobením žaludečních šťáv a enzymů

bakteriálního původu. Díky stahům hladké svaloviny a následně vmezeřené svaloviny se krmivo promíchává, ale i tře, mele a drtí. Pomocí pepsinu jsou dále štěpeny bílkoviny obsažené v krmné dávce asi z 35-50 %. Enzymy pankreatické šťávy, které pocházejí z dvanáctníku jsou zpětně nasávány do žaludku. Následně pomáhají trávit sacharidy a lipidy z 10-15 % (Jelínek et al. 2003).

Podle hrubosti a tvrdosti krmiva se žaludek smršťuje různě dlouhou dobu. Jeden cyklus může trvat 15-60 sekund. Po 2 až 5 cyklech dojde k posunu obsahu do dvanáctníku (Jelínek et al. 2003).

3.2.3 Trávení v tenkém střevě

V tenkém střevě se odehrávají dva hlavní procesy – trávení potravy a resorpce látek (Černý 2005). Podle Jelínka et al. (2003) i Černého (2005) se jemně rozemletý obsah svalnatého žaludku ve dvanáctníku promíchává s pankreatickou šťávou, žlučí a střevní šťávou a dokončuje se žaludeční trávení. Trávení v tenkém střevě se moc neliší od toho savčího, ale má jistou charakteristiku.

Jelínek et al. (2003) napsal, že enzymatické pochody mohou probíhat jak v slabě kyselém, tak slabě alkalickém prostředí. Trávení v tenkém střevě u ptáků má i pár zvláštností. První z nich je nepřítomnost Brunnerových žláz ve dvanáctníku, jejichž sekret by měl chránit sliznici před působením kyselé žaludeční šťávy. Nepřítomnost těchto žláz potvrzuje i Černý (2005), ale naopak Stevens & Hume (1995) popsal výskyt strukturou podobných žláz na pomezí žaludku a střeva u některých ptáků. Druhou zvláštností je slabě rozvinutý lymfatický systém, který způsobuje, že resorpce lipidů jde bezprostředně do krve. V celé délce střeva, kromě kyčelníku, zůstává pH pod hodnotou 7, čím se odlišuje od savců. Další zvláštností je podle Černého (2005), že na rozdíl od savců ústí vývody pankreatu a jater do vzestupné části dvanáctníku. Žluč následně způsobuje emulgaci tuků a pankreatická šťáva obsahuje enzymy, které pomáhají s trávením všech základních komponentů potravy, jako jsou bílkoviny, lipidy a cukry. Dále jak uvádí Marvan et al. (2011) a Reece (2011) je v kličce dvanáctníku uložena slinivka břišní neboli pankreas. Jelínek et al. (2003) popsali, že u ptáků je pankreas více vyvinut než u savců. Zelenka & Zeman (2006) píší, že pankreas produkuje lipázu, amylázu, trypsinogen, chymotrypsinogen, karboxypeptidázy, cholesterolesterázu a hydrogenuhličitan sodný, který má za úkol pufrovat kyselinu chlorovodíkovou vyprodukovanou ve žláznatém žaludku. S úpravou pH pomáhá i slabě alkalická žluč. V celé délce střeva pak pH nepřekoná hranici 7. Gabriel et al. (2006) poznamenali, že podmínky ve dvanáctníku nejsou nijak příznivé pro rozvoj mikroflóry kvůli četnému množství enzymů nebo přítomnosti antimikrobiálních látek jako je

například žlučová kyselina. V dalších částech tenkého střeva jsou podmínky pro mikroorganismy příznivější. Podle Oliveira et al. (2017) se díky neutrálnímu pH mikroorganismy kolonizují hlavně v lačníku *(jejunu)* a kyčelníku *(ileu).*

Pankreatická šťáva je téměř neutrální a její sekrece je závislá na přijmu krmiva. Například zkrmování sóji způsobuje zvětšení pankreatu a zvyšuje aktivitu trypsinogenu a amylázy (Jelínek et al. 2003).

Oakley et al. (2014), Apajalahti & Vienola (2016) a Han et al. (2016) píší, že u brojlerových kuřat převládají v tenkém střevě bakterie, které produkují kyselinu mléčnou. Jsou to zejména rody *Lactobacillus spp., Enterococcus spp.* a *Streptococcus spp*. Přítomnost velkého množství laktobacilů v tenkém střevě způsobuje asimilaci velkého množství aminokyselin, vitamínů a jednoduchých sacharidů.

V tenkém střevě se absorbuje většina živin, jako jsou sacharidy, aminokyseliny a vitamíny. Celkový počet bakterií je vyšší v distálním tenkém střevě než v proximálním. Jedním z nejdůležitějších faktorů hustoty bakterií je složení a stravitelnost stravy (Apajalahti & Vienola 2016).

3.2.4 Trávení v tlustém střevě

Tlusté střevo je u ptáků poměrně krátké a většinou se dělí na dvě slepá střeva a jedno krátké přímé střevo. Vstřebává se zde především voda a soli, a tím dochází k zahušťování střevního obsahu (Černý 2005). V tlustém střevě se dokončuje trávení z tenkého střeva a obsah je vystaven intenzivnímu mikrobiálnímu trávení při kterém vznikají TMK nebo se produkují určité vitamíny (Zelenka & Zeman 2006). Apajalahti & Vienola (2016) uvádí, že tlustému střevu dominují hlavně bakterie mléčného kvašení (BMK). Dochází ke vstřebávání vody, produktů cukerného kvašení a částečně se vstřebávají i elektrolyty a N – látky (Jelínek et al. 2003; Oakley et al. 2014). Zelenka & Zeman (2006) píší, že u drůbeže se v tlustém střevě i dvou slepých střevech vyskytují klky, které se u savců nevyskytují. Oliveira et al. (2017) uvádí, že místo s nejčetnějším místem kolonizace mikroorganismy jsou slepá střeva.

Další částí trávicího traktu jsou slepá střeva. Podle Jelínka et al. (2003) jsou slepá střeva obecně lépe vyvinuta u ptáků, kteří přijímají krmivo s vysokým obsahem celulózy. Drůbež obecně má nedostatečně vyvinutou schopnost trávit celulózu, ovšem Reece (2011) se domnívá, že větší význam slepých střev je u divokých ptáků než u těch domácích. Černý (2005) a Han et al. (2016) píší, že funkční význam mají slepá střeva například u kura, husy nebo kachny. Jedná se o anaerobní prostředí, kde dochází k dalšímu vstřebávání vody plus dalších metabolických produktů a mikrobiálnímu štěpení celulózy, která je po rozštěpení organismem dále

zužitkována. Oakley et al. (2014) a Han et al. (2016) napsali, že anaerobní prostředí slepých střev hraje důležitou roli v recyklaci močoviny. Reece (2011) uvádí, že kyselina močová může být zdrojem dusíku pro bakterie, které provádějí právě rozklad celulózy.

Mikroflóra slepých střev částečně celulózu natráví. Trávení hrubé vlákniny závisí na druhu drůbeže, ale pohybuje se v rozmezí 10-30 %. Dále vznikají těkavé mastné kyseliny (TMK), nejvíce octová, propionová a máselná. A díky bakteriální činnosti dochází k syntetizaci vitamínů skupiny B. Při zkrmování krmiv bohatých na dusík se zvětšuje objem střev (Jelínek, 2003). Podle Apajalahti & Vienoli (2016) ve slepém střevě brojlerových kuřat dominují přísně anaerobní bakterie, z nichž mnohé nemohou být zařazeny do známých bakteriálních rodů. Nicméně přes polovinu z těchto bakterií patří do řádu *Clostridiales*. Zástupci z tohoto řádu jsou schopni rozkládat celulózu nebo degradovat polysacharidy a škroby. Další významnou část bakterií tvoří *Bifidobacteriaceae*. Bifidobakterie pomáhají s degradací jednoduchých sacharidů, oligosacharidů a produkují kyselinu mléčnou a octovou. Oakley et al. (2014) zase uvádí, že nejčastější osídlení zajišťují *Firmicutes, Bacteroides, Proteobacteria* a také *Clostridiales*.

Podle Zelenky & Zemana (2006) je krmivo ve slepém střevě obvykle vystaveno trávení po dobu 24–48 hodin.

U ptáků je potřeba počítat s odlišnou technikou pro stanovení stravitelnosti krmiva, jelikož dochází ke společnému vylučování moči a výkalů přes kloaku, což je společný vývod pro trávicí, pohlavní a močovou soustavu (Jelínek et al. 2003; Černý 2005; Marvan et al. 2011; Reece 2011). Zelenka & Zeman (2006) napsali, že kvůli obtížnému stanovování stravitelnosti živin a energie se nepoužívají systémy hodnocení krmiv, u kterých je potřeba nejprve zjistit koeficienty stravitelnosti. Energetická hodnota se vyjadřuje podle obsahu metabolizovatelné energie (ME), což je energie zmenšená o energii trusu. Při tomto stanovení se nemusí moč oddělovat od trusu. ME se zjišťuje dvěma způsoby bilančních pokusů. Prvním z nich je klasická metoda, kdy se sleduje množství přijatého krmiva a vyloučených exkrementů. Druhým způsobem je metoda indikátorová.

3.2.4.1 Definice klasické metody používané pro zjištění stravitelnosti krmiva

U klasické metody se bere v potaz množství podávaného krmiva, nedožerky nebo krmivo vyházené krmítka. Dále se kvantitativně shromažďují výkaly. U této metody se hodnotí veškeré ztráty krmiva. Důležitý je i obsah spotřebované vody. U této metody se dodržuje pravidelný denní režim.

Vzorky výkalů se odebírají denně a skladují se buďto zmrazením nebo v lednici. Kvůli ztrátám živin při úpravě vzorků (předsušování) se dává přednost lyofilizaci. Při stanovování NL dáváme přednost provedení rozboru hned když je pokus ukončen, a to přesněji z čerstvých výkalů.

Rovnice pro výpočet koeficientu stravitelnosti klasickou metodou podle Zelenky & Zemana (2006):

$$\text{Koeficient bilanční stravitelnosti} = \frac{\mathrm{m}_{krm}\ \mathrm{x}\ \check{\mathrm{z}}_{krm} - \ \mathrm{m}_{výk}\ \mathrm{x}\ \check{\mathrm{z}}_{výk}}{\mathrm{m}_{krm}\ \mathrm{x}\ \check{\mathrm{z}}_{krm}}\ \mathrm{x}\ 100$$

Kde:

m = množství sušiny v gramech

ž = obsah živiny v sušině v procentech

index krm = v přijatém krmivu

index výk = ve vyloučených výkalech

3.2.4.2 Definice indikátorové metody používané pro zjištění stravitelnosti krmiva

Indikátorová metoda je jednou možností bilančních pokusů, při které se stanovuje ME. Při této metodě není důležité množství přijatého krmiva a vyloučených exkrementů. Zvíře přijímá krmivo ad libitum a není nijak omezované zařízením pro sběr exkrementů. Při použití indikátoru lze bilancovat i u rychle rostoucích mláďat, u kterých se zvětšuje jak objem trávicího traktu, tak potřeba živin. Podle procentuálního obsahu nestravitelné látky „indikátoru" v krmivu a v trusu, lze potom vypočítat, kolik trusu se vytvořilo z hmotnostní jednotky krmiva a jaký je poměr mezi množstvím krmiva spotřebovaného zvířetem a množstvím vyloučených exkrementů. Jako indikátoru může být použito některé původní složky krmiva (např. popel nerozpustný ve 4 M kyselině chlorovodíkové) nebo komponenty, které se ke krmné dávce přidají záměrně (např. oxid chromitý nebo oxid titaničitý). Přidané indikátory musí být nestravitelné a nijak nesmějí ovlivňovat trávení. Musí to být takové látky, které se snadno rovnoměrně rozptýlí v krmivu, které procházejí trávicím traktem stejnou rychlostí jako krmiva, musí být inertní (neaktivní), neškodné pro zvíře, nesmějí být produkovány v trávicím ústrojí, nesmí být zaměnitelné s jiné složkou krmiva a musí být snadno, přesně a spolehlivě stanovitelné (Zelenka & Zeman 2006).

Výpočet klasické metabolizované energie při použití indikátorové metody podle Zelenky & Zemana (2006):

$$\textbf{klasická ME} = E_{krm}\frac{i_{krm}}{i_{ex}} * \ E_{ex}$$

Kde:

E = spalné teplo v MJ v 1 kg sušiny

i = obsah indikátoru v g v 1 kg sišiny

index krm = krmiva

index ex = exkrementů (trusu)

Výpočet metabolizované energie opravené na dusíkovou rovnováhu při použití indikátorové metody podle Zelenky & Zemana (2006):

$$\mathbf{MEn} = \text{klasická ME} - 0{,}03655(N_{krm}\frac{i_{krm}}{i_{ex}} * N_{ex})$$

Kde:

N= obsah dusíku v gramech na 1 kg sušiny

Výpočet koeficientu bilanční stravitelnosti podle Kacervského et al. (1990):

$$\text{Koeficient bilanční stravitelnosti} = 100 - \frac{i_{krm}\ x\ ž_{ileum}}{i_{ileum}\ x\ ž_{krm}}\ \text{x}\ 100$$

Kde:

i = obsah indikátoru v sušině v procentech

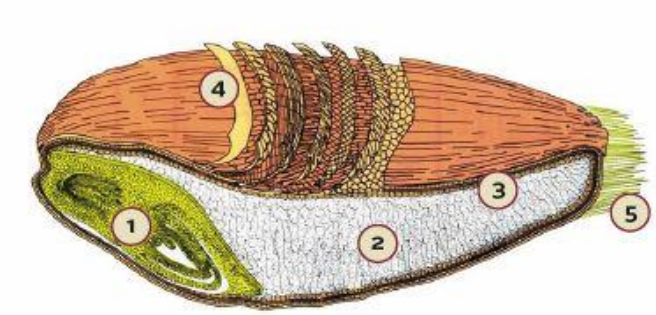
ž = obsah živiny v sušině v procentech

index krm = v krmivu

index ileum = v ileu

3.3 Pšenice setá *(Triticum aestivum L.)*

Pšenice se řádí mezi obiloviny, které patří do čeledi lipnicovitých *(Poaceae)* rostlin a je jednou ze 3 nejrozšířenějších obilovin používaných ve výživě drůbeže. Zrno pšenice obsahuje nejvíce škrobu (60-70 %), méně dusíkatých látek (6-12 %) a tuků. Znalost stavby obilného zrna je důležitá k pochopení rozložení jednotlivých živin. Obalové vrstvy tvoří zejména vláknina, která je například u pšenice nižší, jelikož oplodí je tenké. Také jsou tu vitamíny skupiny B. Další vrstvou je endosperm, který se skládá ze dvou částí. První částí je aleuronová vrstva, která obsahuje velké množství bílkovin a tuk. Tyto bílkoviny mají ale relativně nízkou biologickou hodnotu, jelikož obsahují málo lysinu. Druhou částí je moučné jádro. To obsahuje škrob, který je uložen ve formě škrobových zrn. Poslední vrstvou je klíček nebo také zárodek. Jedná se o nejmenší část zrna, ve které jsou uloženy bílkoviny a hodně tuku, ve kterém se rozpouští vitamín E (Tichá & Vyzínová 2016).



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

Obrázek 2: Obalové vrstvy pšenice (http://www.vlastovicka.cz/cz/pekarina/).

Podle (Steenfeldt 2001; Péron et al. 2005; Gutiérrez del Álamo et al. 2009; Ball et al. 2013; Amerah 2015) je zrno pšenice hlavním zdrojem energie. Je běžnou součástí krmiv pro brojlery a z celkového složení zaujímá asi 55-60 % z celku.

Ball et al. (2013a), Ball et al. (2013b) a Amerah (2015) napsali, že pšenice je z hlediska fyzikálních a chemických vlastností velmi variabilní zrno. Zatím ale žádná studie neurčila přesný fyzikální či chemický parametr, který by byl označen jako hlavní tvůrce rozdílnosti jednotlivých zrn. Chemické složení každého druhu nebo odrůdy se mění každý rok, a to v závislosti na ploše, způsobu pěstování, využívání hnojiv, vlhkosti a vlivu dalších agronomických faktorů. U pšenice je nejdůležitější obsah a stravitelnost škrobu, bílkovin a lipidů. Škrob je nejhojnějším sacharidem a také hlavním zdrojem energie. Jeho obsah se pohybuje okolo 60-70 % a stravitelnost je závislá na struktuře škrobu, poměru amylózy k amylopektinu, na interakci s jinými složkami endospermu nebo způsobem zpracování.

Podle Amerah (2015) je obsah bílkovin v pšenici proměnlivý a jeho hodnota je pohybuje kolem 8-16 % v závislosti na odrůdě a způsobu pěstování. Z AMK jsou lyzin a threonin nejméně stravitelné esenciální AMK, a proto pokud bude krmení založeno na bázi pšenice, může být jejich obsah nedostatečný. Zelenka & Zeman (2006) uvádí, že pšenice má velmi variabilní obsah dusíkatých látek (NL) (10-17 % obvykle mezi 11-14 %) proto je lepší pracovat s hodnotami z vlastního rozboru. V krmné směsi by se měla vyskytovat do 20-25 %, pokud je to ekonomicky výhodné tak až z 50 %.

Z fyzikálního hlediska je nejdůležitější tvrdost zrna. Podle Amerah (2015) může tvrdost zrna komerčně představovat až 70 % ME a 35 % bílkovinných požadavků brojlerů. Ball et al. (2013) uvádí podobné hodnoty, a to že pšenice dodává 80 % ME a 40 % požadovaných AMK. Z chemického hlediska je nejdůležitější množství a struktura neškrobových polysacharidů. Ke zmírnění jejich nežádoucích účinků se používají přídavky enzymů, například xylanázy,

která minimalizuje změny ve bilančně metabolizovatelné energii (AME) (Amerah 2015). Podle Wiseman et al. (2000) je u pšenice výskyt značné variability AME, a to zejména u mladých ptáků. Mateos et al. (2018) uvádí, že fyzikální vlastnosti mají vliv na energetický obsah krmiv, zlepšují funkci GIT a podle hrubosti částic se může změnit i mikrobiální profil zvířete. Wiseman et al. (2000) zmiňují, že jakékoliv faktory, které ovlivní stravitelnost škrobu budou mít dopad na AME.

3.3.1 Nutriční složení pšenice

Svihus & Gullord (2002) uvádějí, že nutriční hodnota pšenice je ovlivněna jak odrůdou, tak prostředím, ve kterém je pěstována a kde na ni působí různé venkovní vlivy. Jako příklad uvádí, že na variabilitu hlavních složek (škrob, protein a tuk) může mít vliv rok či místo pěstování. Na různém obsahu škrobu se podílí především rok pěstování/sklizně a u proteinu naopak místo, kde je rostlina pěstována. Z nutričního hlediska je pšenice významná díky vysokému obsahu škrobu, který se pohybuje v rozmezí 50–70 % a je dobře stravitelný. Obsah hrubé vlákniny je naopak poměrně malý a pohybuje se kole 1,6- 2 %. Dále se v zrnu nachází 8-13 % bílkovin. Obsah zásobních bílkovin lze ovlivnit agrotechnickými zásahy (hnojení). Právě zásobní bílkoviny (prolamin a glutein) vytváří společně s vodou lepek, který je u zvířat nežádoucí, jelikož zhoršuje střevní peristaltiku a snižuje využití živin z krmné dávky. Pro výživu zvířat se proto používá pšenice s menším obsahem zásobních bílkovin. Množství tuku je nízké a pohybuje se od 1,5-3 % a obsahuje nenasycené mastné kyseliny, kyselinu olejovou a kyselinu linolovou. Díky nim tuk snadněji podléhá oxidaci. Hlavní zastoupení vitamínů je zajištěno vitamíny skupiny B, dále pak vit. E a v neposlední řadě i β-karoten. Z minerálních látek je nejvýznamnější Fosfor (P) (Tichá & Vyzínová 2016).

3.3.2 Stravitelnost pšenice

Péron et al. (2005) uvádí, že u pšenice často vychází nízký koeficient stravitelnosti škrobu. Jako příčinu označil tvrdost a odolnost pšeničného zrna. Následně provedl studii, která zkoumala vliv změny velikosti částic pšenice. Svihus & Hetland (2001) popsali, že došlo ke zlepšení stravitelnosti škrobu poté, co bylo krmivo podáváno ve formě šrotu. To vedlo ke sníženému příjmu krmiva, což podporuje hypotézu, že stravitelnost škrobu negativně koreluje s příjmem pšeničného škrobu.

Na stravitelnost pšenice má vliv velikosti částic, které jsou v konečné fázi upraveny peletováním (granulováním). Při použití dvou typů krmiva: hrubě namletá pšenice na velikost

6 mm (H) a jemně namletá pšenice na velikost 2 mm (J) se podle výsledků hodnota stravitelnosti škrobu výrazně zvýšila při podávání krmiva J.

V případě dostatku jídla bylo vyzkoumáno, že u bílkovin a lipidů nebyl pozorován žádný významný rozdíl mezi H a J. V případě, kdy byl přísun jídla snížen a označen jako „nedostatečný“ pro brojlery se snížila stravitelnost bílkovin více u skupiny J než u skupiny H. Posledním poznatkem bylo, že po krmení skupinou H vzrostla hmotnost žaludku.

Při zkoumání výsledků bilančně metabolizovatelné energie opravené na dusíkovou rovnováhu (AMEn) byli zjištěny lepší výsledky u krmiva J. Dále při porovnávání krmiva H a J nebyl zaznamenán významný vliv na přírůstek hmotnosti v závislosti na příjmu krmiva (Péron et al. 2005).

3.4 Sledované živiny ve výživě drůbeže

3.4.1 Energie

Obecně jsou hlavními zdroji energie sacharidy a tuky, ale v nadbytku to mohou být i bílkoviny.

Energie krmiv se dá rozdělit na 4 základní kategorie:

- Brutto energii (BE) definujeme jako množství tepla, které je uvolněno dokonalým spálením vzorku v kyslíkové atmosféře ve spalovacím kalorimetru za předepsaných podmínek.
- Bilančně stravitelná energie (SE) se definuje jako BE krmiva, která je zmenšená o celkový obsah energie ve výkalech včetně energie metabolického původu.
- Metabolizovatelná energie (ME) je BE přijatého krmiva, která se nevyloučila výkaly, močí ani plynnými zplodinami trávení. Jednou z dalších možností je metabolizovatelná energie upravená na dusíkovou rovnováhu dále jen MEn. Její definice je klasická metabolizovatelná energie zmenšená o tu část energie v těle ukládaných dusíkatých látek, která nemůže být v organismu využita a bude vyloučena močí.
- Netto energii (NE) definujeme jako BE přijatého krmiva, která se nevyloučila výkaly, močí, plynnými zplodinami trávení ani se neztratila jako přírůstek produkce tepla (Hošková rok neznámý; Dvořáčková 2011).

Podle Zelenky et al. (2007) se potřeba energie pro drůbež i její obsah v tabulkách vyjadřuje jako hodnota bilančně metabolizovatelné energie opravené na dusíkovou rovnováhu (AMEn). Mateos et al. (2018) píší, že bilančně metabolizovatelné energie (AME) se užívá

k hodnocení energetického obsahu složek a diet, ale tento systém není přesný ve všech okolnostech, proto se využívá spíše AMEn.

Jeho hodnota se udává v kilojoulech (kJ) nebo megajoulech (MJ). V bilančních pokusech se zvířaty se zjišťuje klasická metabolizovatelné energie krmiva (ME) a to tak, že od brutto energie krmiva, která se stanoví spálením vzorku v kalorimetru, se odečte spalné teplo trusu. Zvířata zpravidla ukládají část energie zkoumaného krmiva v těle ve formě bílkovin a mají tedy kladnou energetickou bilanci. Kdyby tomu tak nebylo, došlo by k tomu, že se dusíková bilance vyrovná a tím pádem by se stalo, že by trus obsahoval víc energie a ME by byla nižší. Vypočtená hodnota se upravuje, protože dochází k vylučování části energie bílkovin přes moč (bez užitku) a to ve formě energeticky bohatých dusíkatých zplodin metabolismu. Při stanovení AMEn a ME se sleduje dusíkatá bilance. S přibývajícím věkem zvířete se mění hodnoty AMEn, proto je třeba počítat s rozdílnými hodnotami pro nejmladší kuřata a dospělá zvířata (Zelenka et al. 2007). Maisonnier et al. (2010) také uvádí, že brojlerová kuřata vykazují variabilitu u AME a obecně je větší u dospělých zvířat. Podle pokusu, který provedli, lze určit, že hodnoty AMEn nejsou ovlivněny některými nekontrolovatelnými experimentálními podmínkami, ale spíše individuální charakteristikou každého ptáka.

WPSA (Evropská federace Světové drůbežnické vědecké společnosti) (1989) popsala rovnici, která pomáhá orientačně odhadnout metabolizovanou energii krmné směsi pomocí chemického rozboru obsahu živin. Tuto rovnici zmiňuje i Zelenka & Zeman (2006).

MEn (MJ/kg)= $34{,}31\,.\,tuk\,\left(\frac{g}{g}\right) + \,15{,}51\,.\,dusíkaté\ látky + 16{,}69\,.\,škrob\,\left(\frac{g}{g}\right) + 13{,}01\,.\,cukr\,(\frac{g}{g})$

WPSA (1989) také vydala Evropské tabulky energetických hodnot pro drůbež, kde lze najít rovnice pro odhad MEn pro jednotlivé komponenty krmných směsí.

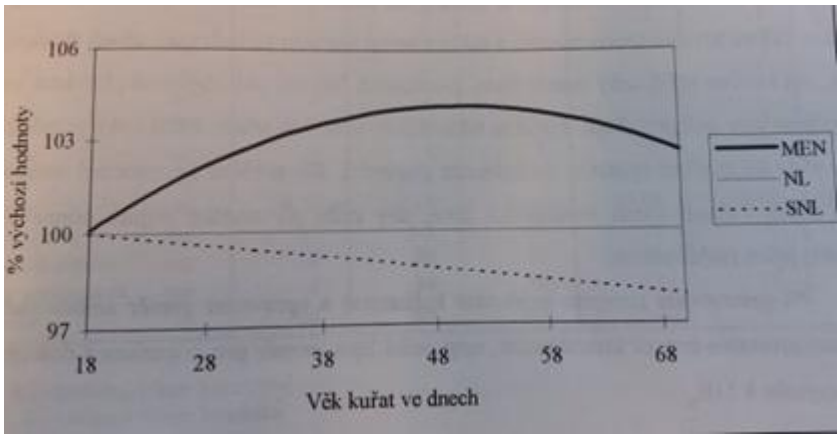
- pšenice = 26,4 * tuk + 14,61 * dusíkaté látky + 15,24 * bezdusíkaté látky výtažkové
- sójového extrahovaného šrotu = 19,41 * tuk + 15,69 * dusíkaté látky + 6,236 * bezdusíkaté látky výtažkové

Podle WPSA (1989) a jejich evropských tabulek energetických hodnot pro potravinářská krmiva (1989) lze AMEn vypočítat pomocí rovnice:

$$\mathbf{AMEn} = 16{,}78\ cp - 16{,}78\ cfat - 69{,}20\ BNLV$$

cp= hrubý protein; *cfat*= hrubý tuk; *BNLV*= bezdusíkaté látky výtažkové

U krmiv pro drůbeže se poměr živin obvykle udává počtem kJ metabolizovatelné energie opravené na dusíkovou rovnováhu (MEn), které v 1 kg krmiva přidají na 10 g hrubého proteinu (1 %). Pro záchovu je potřebná především energie a menší množství NL, ale pro růst musí být energie a NL v úzkém poměru. Nároky na potřebu živin se mění s rostoucím zvířetem. U nejmladších zvířat je největší přírůstek u bílkovin a minimální u tuku. U zvířat na konci výkrmu je přírůstek tuku vyšší. Brojleři v různých věkových fázích jsou schopni z téhož krmiva metabolizovat různé množství energie. Na obrázku č. 3 je vidět, že s přibývajícím věkem brojlerů se MEn zvyšuje, přičemž během 5–7 týdne dosáhne maxima a začíná klesat. Jedná se o parabolickou závislost MEn na věku zvířete. Důležité je, že obsah dusíkatých látek (NL) se po celou dobu nemění. Mění se pouze stravitelnost NL (SNL) (Zelenka & Zeman 2006).



Obrázek 3 Přirozená změna poměru MEn a dusíkatých látek (Zelenka & Zeman 2006).

Mateos et al. (2018) uvádí, že energetický obsah obilovin závisí na podílu vlhkosti, fyzikálně – chemických vlastnostech, frakcích škrobu a vlákniny (těsně či negativně souvisejících) a koncentraci viskózních sacharidů. Vyšší variabilita u energie se očekává u pšenice, ječmene, žita, tritikale nebo ovsa. Také existuje lineární pozitivní korelace mezi NSP a energetickým obsahem obilovin.

3.4.2 Hrubý protein

Definuje bílkovinu obsaženou v krmivu. Bílkovina nebo též protein je důležitá výživná látka. Podle Reece (2011) jsou bílkoviny složité a velké molekuly, které obsahují velké množství aminokyselin. Aminokyseliny (AMK) jsou základními stavebními kameny bílkovin. Pokud se spojí peptidickou vazbou vznikají dipeptidy, oligopeptidy nebo polypeptidy. Polypeptidy složené z více jak 100 AMK se označují jako bílkoviny. Dělení AMK je

na esenciální a neesenciální. Esenciální neboli nepostradatelné jsou takové, které si organismus sám nedokáže vytvořit a musí se přidat do potravy. Naopak neesenciální neboli postradatelné si zvíře dokáže syntetizovat v dostatečném množství samo. Lemme et al. (2004) a Reece (2011) uvádí, že z hlediska kvality bílkoviny je nejlepší ta, která obsahuje všechny esenciální AMK přesně v takovém poměru, jaký je třeba. Ideální koncept je takový, který zajistí optimální využití všech esenciálním AMK, protože v ideálním proteinu jsou všechny AMK v rovnováze a žádná není v relativním přebytku nebo nedostatku. Zelenka et al. (2007) napsali, že esenciální AMK jejíž zastoupení v hrubém proteinu je nedostatečné, limituje využití ostatních AMK, čímž se zvyšují nároky na množství hrubého proteinu v krmné směsi nebo se limituje užitkovost hospodářských zvířat. Taková AMK je nazývá limitující. Lemme et al. (2004), Zelenka & Zeman (2006) a Zelenka et al. (2007) definují jako limitující AMK pro drůbež hlavně methionin (případně methionin plus cystein) a lysin. Častý bývá i nedostatek threoninu a tryptofanu. Proto se tyto AMK průmyslově vyrábí a přidávají do krmných směsí.

Hrubý protein je stejný název pro dusíkaté látky (NL). Stanovujeme je podle metody Kjeldahla a výsledného dusíku, který vynásobíme koeficientem 6,25. Tento koeficient vychází z toho, že průměrný obsah dusíku v krmivech je 16 %. Pro drůbež je důležitý dostatek NL, které zabezpečí dostatek esenciálních AMK, ale i těch poloesenciálních, neesenciálních nebo látek pro tvorbu AMK (Zelenka et al. 2007). Podle Lemme et al. (2004) je lepší vycházet ze stravitelného obsahu AMK než z celkového. Tím se lépe a přesněji bude sestavovat krmná směs pro brojlery a lépe předpovídat užitkovost zvířat. Ileální stravitelnost je pro stanovení stravitelnosti AMK vhodnější, protože se měří rozdíl mezi množstvím přijatých AMK a množstvím v trávenině na konci tenkého střeva. Pro zjištění se používá indikátorová metoda. Naopak fekální stravitelnost AMK není tak vhodná, jelikož se od obsahu AMK v krmivu odečítá obsah AMK vyloučených ve výkalech. Výsledky tedy nejsou ideálním ukazatelem využitelnosti, protože jsou ovlivněny rozsáhlým mikrobiálním trávením ve slepých střevech. Dale et al. (2012) uvádí, že hrubý protein se zjišťuje kvůli tomu, že je jedním z nejdůležitějších kvalitativních parametrů krmiv a jako nutriční prvek používaný při výživě zvířat. Hrubý protein se stanovuje, neboť je u zvířat důležitý například kvůli udržení laktace, zvýšení růstu a zlepšení reprodukce. Také je důležitý pro oblast zemědělství, protože krmiva s vysokým obsahem bílkovin jsou důležitými a žádanými zdroji krmiva. Důležitá je také stravitelnost, protože udává rozsah, v jakém je krmivo absorbováno v těle zvířete při průchodu gastrointestinálním traktem (GIT). Podle Dale et al. jsou proteiny organické sloučeniny složené do stavebních bloků (=AMK). Ty jsou významnou složkou životně důležitých orgánů, tkání, svalů, mléka a enzymů.

Ball et al (2013b) uvádí, že obsah hrubého proteinu může být ve vzájemné korelaci s úrovní hnojení pomocí dusíkatých hnojiv.

Rosales et al. (2011) uvádí, že u pšenice, ječmene, triticale nebo kukuřice jsou koncentrace AMK v korelaci s hrubým proteinem, což znamená, že obsah většiny z nich může být odvozen z již známých hodnot referenčních proteinů. Referenční protein je tzv. idealizovaný. Jeho obsah odpovídá požadovanému příjmu esenciálních AMK. Často se používají proteiny kravského mléka nebo vajec, protože mají vhodný poměr esenciálních AMK a dobrou stravitelnost.

3.4.3 Škrob

Podle Reece (2011) škrob řadíme mezi cukry, jinak sacharidy, které se dělí na monosacharidy, disacharidy a polysacharidy. K polysacharidům se řadí právě škrob, který je zásobní látkou převážné části rostlin. Je vynikajícím zdrojem energie a díky hydrolýze se degraduje postupně na maltózu, a nakonec na glukózu, která se snadněji resorbuje.

Stravitelný škrob je uložen ve tvaru granulí v endospermu pšenice. Složení škrobu a bílkovin v endospermu je specifické a geneticky určené, ale obsah proteinu závisí také na podmínkách růstu, a především na dusíkatém hnojení (Gutiérrez del Álamo et al. 2009; Mateos et al. 2018). Wiseman (2006) upozorňuje, že přirozený škrob je v podstatě krystalický (může se měnit podle zdroje) a tím pádem méně stravitelný než amorfní škrob. U měkčí pšenice jsou granule škrobu a bílkovin zapuštěny do drobné matrice, která se snadno rozdrtí. Tím pádem se škrob i bílkoviny uvolní bez velkého poškození. U tvrdé pšenice proteinová matrice fyzicky zachycuje škrobové krystaly či granule a jejich separace není snadná. Takže velikost škrobových částic v zrnu má vliv na fyzikální a chemické vlastnosti pšeničného zrna.

Obsah škrobu v zrně je závislý na druhu odrůdy a vnějších podmínkách. Jeho rozmezí se pohybuje od 50–70 %. Samotný škrob se skládá ze dvou polymerů. První z nich je amylóza, která se řadí k lineárním polymerům a glukózové jednotky jsou spojeny α (1-4) -vazbou. Tyto vazby vytvářejí helixy a levotočivou šroubovici. Druhým z nich je amylopektin. Ten je rozvětvený a obsahuje více D-glukózových jednotek. Ty jsou k hlavní větvi připojeny α (1-6) – vazbou. Pšeničný škrob obsahuje přibližně 250–290 g amylózy a 710-750 g amylopektinu/ kg. Průměrný obsah amylózy u pšeničného škrobu se pohybuje od 24-29 %. Poměr amylózy a amylopektinu se liší podle druhu krmiva nebo odrůdy pšenice. Například u tzv. waxy odrůd pšenice je obsah amylózy velmi nízký (Wiseman et al. 2000; Papoušková 2012).

Podle Wiseman et al. (2000) drůbež nevylučuje žádnou slinnou amylázu, která by škrob částečně natrávila, ale i tak dochází k trávení škrobu, a to díky přítomnosti epifytní mikroflóry

na rostlině. Hlavním enzymem, který je zodpovědný za následné trávení škrobu je pankreatická α – amyláza. Činnost trávicího enzymu u drůbeže je ovlivněna řadou faktorů včetně věku a fyziologického stavu zvířete, krmením nebo inhibicí konečného produktu. Samotná koncentrace amylázy a čas průchodu přes trávicí trakt určují množství škrobu, které se dostane do tlustého střeva. Nejlepší stravitelnost škrobu se projevuje v oblasti tenkého střeva. Wiseman (2006) píše o vlivu věku zvířete na činnost trávicího enzymu amylázy a dodává, že špatné hodnoty stravitelnosti u mladých brojlerů nelze přičítat nedostatečnému množství amylázy, ale je pravděpodobné, že na vině jsou jiné vnitřní či vnější faktory mezi které patří interakce samotného škrobu s jinými složkami či fyzikálně – chemickými strukturami škrobu. Jako příklad uvádí fakt, že i mladá kuřata jsou schopna pokrýt potřebu pankreatické α – amylázy, a dokonce ji vylučují až v nadbytečném množství.

S částečným natrávením škrobu ve voleti souhlasí i Jelínek et al. (2003). Ten spolu s Wisemanem (2006) uvádí, že vzniká glukóza a jednoduché cukry, které jsou mikroflórou zkvašeny na kyselinu mléčnou, těkavé mastné kyseliny (TMK) (octovou, propionovou a máselnou) a alkohol. Tato fermentace probíhá v tlustém střevě díky mikrobiálnímu působení.

Pšeničný škrob je považován za velmi pomalu stravitelný, ale v plném rozsahu. Wiseman et al. (2000), Steenfeldt (2001) a Ball et al (2013b) napsali, že jeho natrávení však nemusí být úplné a je potřeba zkoumat ty složky pšenice, které jsou spojeny s nízkou stravitelností. Příkladem jsou neškrobové polysacharidy (NSP), což jsou složité vysokomolekulární látky složené z řetězců jednoduchých cukrů, jejichž stravitelnost je omezená nebo žádná a působí jako antinutriční faktory. Pšenice obsahuje kolem 110 gramů NSP / kg. Jejich podíl na sušině není veliký, ale i tak zvýšení obsahu NSP může být příčinou snížení hodnot AME. Mezi další nepříznivé účinky patří snížení stravitelnosti tuku, škrobu a bílkovin, zvýšení viskozity krmiva, snížený příjem krmiva, horší využití živin a snížení přírůstku. Zelenka & Zeman (2006) uvádí, že čerstvě sklizená pšenice je hůře stravitelná a nepříznivě ovlivňuje užitkovost. Nejpravděpodobnější příčinou je vyšší obsah rozpustných neškrobových polysacharidů. Po sklizni se jejich množství snižuje. Pšenice také obsahuje více fytázy oproti jiným obilovinám, proto jsou živiny vázané ve fytátech lépe využívány. Při granulování směsi se díky teplu může fytáza zničit.

Podle Wiseman (2006) je škrob hlavním zdrojem energie a jeho stravitelnost může mít zásadní vliv na energetickou bilanci. Gutiérrez del Álamo et al. (2009) uvádí, že škrob nejvíce přispívá k AME pšenice a je zdrojem až 79 % AMEn.

3.5 Metoda NIR

V dnešní ekonomicky náročné době je výhodné snížit náklady za krmiva na co nejnižší možnou hodnotu, a přitom maximalizovat užitkovost zvířat. Proto je testovaní krmiv velmi důležité. Cílem těchto testů je schopnost předpovídat možnost využití krmiva zvířaty v co největší možné míře, tak aby byly pokryty základní živinové požadavky. Je však potřeba brát ohled jak na celkový stav zvířat, tak i na možnou chybu analýzy.

Světlo obecně definujeme tzv. vlnovými délkami. Viditelné světlo je takové, které se pohybuje v rozmezí 400–700 nanometrů. NIR je založena na principu využití infračerveného záření (dále jen IR), jehož vlnové délky jsou delší, než je rozsah viditelného světla. Přirozeným zdrojem IR je slunce a způsobuje řízení a reprodukční změny v rostlinách. Přestože nedokážeme IR vidět, můžeme cítit teplo, které způsobuje jeho absorpce.

Na rozdíl od viditelného světla záleží odraz IR na složení položky, od které se odráží, a to zejména od vodíkových vazeb. Kdybychom IR mohli vidět neviděli bychom barvy ale spíše něco jako "bílkovina", "škrob," "tuk" atd. (Undersander 2006; Ibáñez & Aloman 2008). Podle Montanhini et al. (2017) se technologie NIR ukázala jako lepší metoda k určování nutričního zastoupení jednotlivých krmných složek ve srovnání s tabulkovými hodnotami.

3.5.1 Popis

Klouda (2003) popisuje princip infračervené spektroskopie jako absorpci IR molekulami látek. Oproti záření ultrafialovému a viditelnému má IR větší vlnovou délku a nižší energii. Z hlediska elektromagnetického spektra pokrývá část intervalu mezi 0,78- 1000 μm, ale běžně se místo vlnové délky používá vlnočet, kde nejdůležitější oblast pro IR je v rozmezí 4000–670 cm^{-1}. Oblast infračerveného spektra se dělí na 3 části: blízkou, střední a vzdálenou. Podle Papouškové (2012) může infračervené spektrum měřit látky všech fyzikálních skupenství. Při vzájemném spolupůsobení měřeného vzorku s elektromagnetickým zářením dojde ke vzniku specifických spekter vzorku. Vlnočet pásů definuje určité skupiny, které se vyskytují ve sloučeninách a jejich plocha nebo výška určuje kvantitativní zastoupení sloučenin ve směsích. Blízká infračervená spektroskopie dále jen NIR je podle Rosales et al. (2011) technikou, která kombinuje spektroskopii a matematiku. V porovnání s tzv. „mokrým“ chemickým postupem NIR metoda nevyžaduje téměř žádnou nebo jednoduchou přípravu vzorků, je také rychlá, relativně nenákladná a usnadňuje analýzu několika vlastností současně. Dale et al. (2012) popisuje, že chemické „mokré“ metody jsou nejpřesnější pro stanovení nutričních hodnot krmiv, ale jsou také velmi časově a finančně náročné. Jejich výsledky se často

používají pro účely zjištění kvality nebo pro vývoj nových technik (výpočtů). Kromě toho jsou tyto chemické analýzy základem pro všechny moderní analytické metody založené na přístrojích a pro kalibraci metod na NIR. Jejich popis NIR spektroskopie zní, že je založena na odrazivosti vzorků krmiv.

Při použití NIR, za předpokladu, že jsou k dispozici nebo budou vyvinuty vhodné kalibrace, se může efektivně rozšířit množina monitorovaných vlastností. Kalibrace popisuje postup převodu informací o absorbanci NIR, a to do hodnot tzv. referenční metody. Přesnost tohoto přenosu informací se hodnotí pomocí směrodatné odchylky kalibrace (SEC) a směrodatné odchylky predikce (standard error of performance, SEP). Při úspěšné NIR kalibraci bývá SEP cca dvojnásobně větší v porovnání se směrodatnou odchylkou při laboratorním stanovení (Míka et al 2008). Towett et al. (2013) a Montanhini et al. (2017) napsali, že NIR je rychlým a spolehlivým způsobem zjišťování kvality a zdravotní bezpečnosti krmiv. Spektrum získané z každého analyzovaného vzorku slouží jako komplexní složka obsahující údaje o produktu, u kterých lze použít predikci rovnice s odkazem na jiné metody (chemický rozbor, in vivo). Towett et al. (2013) popisuje, že NIR je vhodná alternativa k chemické analýze pro stanovení obsahu hrubého proteinu (NL), ale i ostatních složek krmiva.

Při správné kalibraci přístrojů NIR dokážeme detekovat IR a definovat přítomnost různých druhů organických sloučenin. Tato metoda je rychlá, nedestruktivní a vyžaduje minimální přípravu vzorků. První použití NIR proběhlo v roce 1976 a metoda byla schválena AOAC (Official Methods of Analysis) pro používání stanovení vlhkosti, Kjeldahlova dusíku a acido detergentní vlákniny (dále jen ADF) krmiv. Podle Ibáñez & Aloman (2008) dokáže NIR absorbovat organické vazby typu: C-H, N-H a O-H.

Optická data uložená jako NIR spektra společně s chemickými daty se dají modelovat pomocí regresní analýzy, která poskytuje rovnice, které se dají použít k předvídání relevantních proměnných jako jsou například výživové frakce (Ibáñez & Aloman, 2008).

3.5.2 Výhody a nevýhody

Výhod metody NIR je mnoho. Zásadní je především rychlost stanovení a množství zjištěných výsledků. Dalšími výhodami jsou: malá nebo téměř žádná potřeba vzorek připravovat k analýze, žádná spotřeba činidel a nízké náklady na analýzu v porovnání s tradičními metodami. NIR téměř zaručuje předvídavý výkon. K nevýhodám se dá přiřadit nutnost NIR právně kalibrovat. Pokud není přístroj správně nakalibrován dochází k vyhodnocení chybných výsledků. Další chyby, které mohou ovlivnit výsledky jsou špatný odběr vzorků z krmiva nebo špatný postup analýzy. Proto je tato metoda závislá na zkušeném

pracovníkovi, který má s NIR zkušenosti. Další nevýhodou může být vyšší počáteční investice do přístroje (Undersander 2006; Towett et al. 2013).

4 Metodika a materiál

Pro výzkum bylo vybráno 20 odrůd pšenice seté, které byly sklizeny v roce 2017 (lokalita Uhřetice). Z těchto 20 vzorků patřilo 11 odrůd k DH linii 08 (104, 108, 109, 113, 118, 120, 121, 128, 137, 139 a 145). Část z nich byla opatřena žitnou translokací. Další 2 odrůdy patří k pšenici jarní (U1583A a U1596A), které budou dále označovány jen čísly 1583 a 1596. Další zkoumané odrůdy se označují jako waxy pšenice, ke kterým patří waximum a waxypen. Tyto waxy pšenice nebo také voskové pšenice mají skvělé vlastnosti pro pekárenský průmysl. Řadí se mezi tvrdé pšenice. Poslední 5 vzorků patří mezi komerčně používané odrůdy. Jsou jimi Bonanza, Gordian, Tobak, Steffi a Vanessa.

Pšenice se testovala na kuřecích brojlerech, kdy na každou odrůdu připadala skupina čítající 4 brojlery Ross 308. 3 dny (32 den života brojlerů) před odběrem tráveniny se brojlerům, kteří byli stájeni v individuálních klecích podala pšenice namleté na vertikálním kladívkovém šrotovníku VM-3 (Taurus) se sítem o průměru ok 3 mm. Testovaná směs obsahovala indikátor stravitelnosti (oxid chromitý) v celkové dávce 1 %. Bilanční pokus byl proveden na brojlerech ve věku 35 dní, kdy byla získána trávenina, ze které se zjišťovaly hodnoty ileální stravitelnosti živin.

V podbodech níže jsou uvedeny metody, které byly použity ke zjištění potřebných parametrů, přičemž u každého je uveden zdroj, podle kterého se postupovalo. Popis zkoušených vzorků pšenice

4.1 Popis zkoušených vzorků pšenice

GORDIAN B

Přednosti pšenice Gordian jsou špičkové výnosy ve všech výrobních oblastech. Je to plastická odrůda, která má pevné a krátké stéblo, je nepoléhavá, má výborné přezimování, nadprůměrný zdravotní stav a je vhodná do intenzivních i extenzivních podmínek pěstování.
Co se vlastností a zdravotního stavu týče, jedná se o polopozdní odrůdu, která má původ Tulsa x Ellvis. Jsou to nízké rostliny (84 cm) s dobrou odolností proti poléhání se středním až nižším odnožováním. Mají velmi dobrou zimovzdornost a jejich zdravotní stav je na vysoké úrovni, což je dáno vysokou odolností proti padlí, braničnatce plevové, rzím a klasovým fuzáriím. Má nižší HTZ (42 g). Její zrání je vyrovnané a odrůda je odolná proti výdrolu. Patří mezi odrůdu, která je registrovaná v pekařské kvalitě B (chlebová), má vysokou objemovou hmotnost. Umí dobře hospodařit s vodou, tím pádem zvládá lehčí půdy a přísušky (BOR s.r.o. 2019).

BONANZA Krm

Mezi její přednosti patří vynikající výnos zrna, vysoká mrazuvzdornost (8,3), pevné zdraví a tolerance k pozdním termínům setí. Patří k odrůdám vyšlechtěným v Německu. Má střední vzrůst, s dobrou až velmi dobrou odolností proti poléhání. Další z předností je dobrá odolnost k fuzariu v klase po kukuřici a běloklasosti, díky které může být setá po obilnině i kukuřici. Termíny setí jsou od poloviny září do konce října (Saaten-union s.r.o. 2014).

TOBAK B

K přednostem této odrůdy patří absolutně bezkonkurenční výnos zrna, velmi dobrý zdravotní stav, mrazuvzdornost a zimovzdornost a mimořádná plasticita. Tato odrůda má výnos přes 10 tun zrna na hektar. Výnos je postaven na spojení vyššího počtu klasů, vysokého počtu zrn v klase a střední HTZ. Je tolerantní vůči půdně – klimatickým podmínkám. Při vysokém infekčním tlaku ze strany fuzarií je doporučeno ošetření klasu. Jelikož je Tobak vysoce intenzivní odrůda je pro dosažení pekařských parametrů A důležité neopomenout vhodné hnojení sírou ve spojení s ostatními makro i mikroprvky a také zvýšené hnojení dusíkem (Saaten-union s.r.o. 2015).

STEFFI

Je odrůda poloraná, vysoká, velmi výnosná s dobrým zdravotním stavem. Má střední odolnost k poléhání a doporučuje se ošetřovat morforegulátory. I při neošetřené variantě má velmi vysoký výnos ve všech oblastech pěstování. Je středně odolná až odolná k většině houbových chorob včetně rzi plevové. Její zrno je středně velké (46,8 g HTZ) (OSEVA: Agro Brno 2019).

VANESSA

Je poloraná odrůda intenzivního krmného typu. Rostliny jsou středně vysoké s velmi dobrou odolností proti poléhání a velmi dobrou odolností proti vyzimování. Odrůda je odolná proti rzi pšeničné, běloklasosti a braničnatce plevelové, středně odolná proti napadení padlím travním na listu a v klasu a středně odolná proti napadení listovými chorobami. V ošetřené i neošetřené variantě je výnos ve všech oblastech velmi vysoký. Je možné použít na pěstování po obilovině. Odrůda se vhodná pro výrobu nekynutých těstových výrobků a pro pečivářské účely díky vysokému obsahu bílkovin a nízké sedimentaci (ZNZ Přeštice a.s. 2014).

4.2 Stanovení oxidu chromitého

Stanovení oxidu chromitého probíhalo podle následujícího postupu: Navážka každého vzorku byla přibližně 0,5 g (u výkalů stačí 0,2-0,3). Vzorek se přidal do Erlenmayerovy baňky. Následně se přidalo 25 ml oxidačního činidla a baňky se daly vařit na pískovou lázeň. Roztok

změní barvu z černé na zelenou a potom na hnědou nebo žlutou podle koncentrace oxidu chromitého (důležité je hlídat barvu, aby nedošlo k „převaření“ a změně barvy zpět na zelenou). Po změně barvy se pomocí krouživých pohybů ze stěn baněk odstraní ulpělé zbytky vzorku. Vzorky se nechají zchladit a následně se přidají 2 ml 70 % kyseliny chloristé a vše opět musí projít varem. Vzorky se opět nechají vychladit a kvantitativně se převedou do titrační baňky s objemem na 250 ml, kde se přidá 100 ml destilované vody, 2-3 varné kamínky a vše se mírně vaří, dokud nedojde k odpaření ¼ objemu baňky. Po vychladnutí se do baňky přidá cca 1 g jodidu draselného, roztok se promíchá a titruje se roztokem thiosíranu sodného. Při titraci, po zmírnění intenzity barvy se do roztoku přidá 5-10 ml škrobového mazu a po výrazném zmírnění intenzity modré barvy opatrně titrovat do odbarvení roztoku. Při titraci je třeba dávat pozor, protože změna barvy má po přerušení dávkování ještě doběh, než se titrovaný roztok plně promíchá.

Výpočet procentického množství oxidu chromitého:

$$x = \frac{spotřeba\ thiosíranu\ sodného\ .faktor.\ 0{,}2533}{navážka}$$

Pro přípravu 500 ml oxidačního činidla se použilo 10 g molybdenanu sodného, který se rozpustil v 50 ml vody. Následně se opatrně přidalo 150 ml kyseliny sírové, roztok se ochladil a přidalo se 200 ml 70% kyseliny chloristé.

K přípravě škrobového mazu se použil 1 g škrobu (stačí bramborový pro kuchyňské použití), který se rozmíchal v 50 ml studené vody. Suspenze se nalije do 500 ml vroucí vody a zamíchá. Pokud vznikne fialové zabarvení (působením jodu), je nutné připravit nový roztok.

Ke stanovení faktoru thiosíranu sodného se navážilo 0,22 g dichromanu draselného do titrační baňky a přidalo se 10 ml destilované vody, 2 ml koncentrované kyseliny sírové a 0,5 g jodidu draselného. Nechá se 5 minut odstát a pipetuje se testovaným roztokem thiosíranu sodného. Tento postup se opakuje třikrát a vypočítá se s přesností na 4 desetinná místa faktor titrace podle vzorce *F=zjištěná spotřeba/plánovaná spotřeba* (Kacerovský et al. 1990).

4.2.1 Stravitelnost živin: Indikátorová metoda

V této práci bylo indikátorovou metodou stanoveno množství NL a škrobu v krmivu a trávenině v ileu. Množství indikátoru se rovněž stanovovalo v krmivu i v trávenině. V ileu se

vyskytuje veškerý indikátor, ale z přijatých živin jenom ty, které nejsou strávené. Jako indikátor byl použit oxid chromitý.

Ileální stravitelnost NL a škrobu se vypočítá z poměru živin stanovených v krmivu a trávenině v ileu pomocí indikátorové metody Kacerovský et al. (1990).

Výpočet koeficientu bilanční stravitelnosti podle Kacerovského et al. (1990):

$$\textbf{Koeficient bilanční stravitelnosti} = 100 - \frac{i_{krm} \text{x } ž_{ileum}}{i_{ileum} \text{x } ž_{krm}} \text{x } 100$$

Kde:

i = obsah indikátoru v sušině v procentech

ž = obsah živiny v sušině v procentech

index krm = v krmivu

index ileum = v ileu

4.3 Stanovení dusíkatých látek metodou podle Kjeldahla

Stanovení dusíkatých látek probíhalo podle následujícího postupu přesněji metody podle Kjeldahla na přístroji Kjeltec 2400 (Foos), kdy se postupovalo podle nařízení komise (ES) č. 152/2009 Sb. Pomocí navažovací lodičky se z každého vzorku navážilo 0,5 g a vložilo se do mineralizační tuby. Ke každému naváženému vzorku se přidala pinzetou mineralizační tableta. Vzorek se poté smíchal s 10 ml koncentrované 96 % kyseliny sírové. Do každé tuby se ještě přidalo 2x 5 ml peroxidu vodíku. Na stojan se vložil exhaustor a došlo k zamíchání s obsahem a když skončilo pěnění obsahu se stojan vložil do mineralizačního bloku. Mineralizuje se při 420 °C po dobu 45 minut za přítomnosti pentahydrátu síranu mědnatého jako katalyzátoru. Kyselý roztok se dále alkalizuje roztokem hydroxidu sodného. Následně se amoniak vydestiluje a jímá se do 4% kyseliny borité. Přebytek se potom titruje standartním roztokem 0,1 M kyseliny chlorovodíkové.

Výsledkem jsou dusíkaté látky/hrubý protein, které vyjdou tak, že se obsah dusíku vynásobí faktorem 6,25. Tuby se vkládaly do přístroje a spuštěním dvířek se analýzy zahájily. K výměně tuby došlo vždy až po zobrazení nápisu „READY“.

U slepého pokusu by mělo být testování provedeno nejméně 3x, přičemž by výsledná hodnota pokusu neměla přesáhnout hodnotu 0,2 a dva pokusy jdoucí po sobě by měly vycházet s přibližně stejnou hodnotou.

Výpočet dusíkatých látek v sušině v % lze vypočítat podle vzorečku:

$$\text{NL} = m_1 * c$$

Kde:

$m_{1=}$ průměrná hodnota minimálně 2 analýz

c= korekční faktor, který se vypočítá podle slepých vzorců podle vzorce: $c = \frac{100}{S}$

4.4 Stanovení sušiny

Sušina se stanoví jako zbytek po vysušení vzorku při 103 °C do konstantní hmotnosti. Do suchých hliníkových vysoušeček se naváží kolem 5 g vzorku (přesnost na 4 desetinná místa). Naplněné vysoušečky se dají do sušárny a nechají se tam minimálně po dobu 4 hodin při 103 °C. Po skončení vysoušecího procesu se vysoušečky zváží a sušina se vypočítá podle následujícího vzorce: (Nařízení komise (ES) č. 152/2009 Sb.)

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

4.5 Stanovení škrobu v obilovinách a potravinách bez obsahu resisantního škrobu, D – glukosy a/nebo maltodextrinů

Vzorky se namelou na mlýnku se sítem 1 mm (lepší 0,5 mm). Každý vzorek se naváží 2x po 0,1 g a vloží do falkonky na 15 ml. Poté se přidá 0,2 ml ethanolu (80 %), vzorky se promíchají ve vortexu. Poté se přidají 3 ml roztoku termostabilní amylázy (obsah lahve 1 v poměru 1:30 s činidlem 1, tedy pufrem octanu sodného, pH 5). Vše se inkubuje ve vařící vodě 12 minut (pro plastové zkumavky a míchat po 3 minutách ve vortexu). Tuby se následně vloží do vodní lázně zahřáté na 50 °C, přidá se 0,1 ml obsahu z láhve 2 (amyloglukosidasa, 330 U) a inkubují se 30 minut. Pak se objem zkumavky doplní do 10 ml destilovanou vodou, zamíchá se a odstředí se v centrifuze po dobu 10 minut a 3000 otáčkách. Ze supernatantu se odebere 1 ml naředí se destilovanou vodou do 10 ml. Vzniklý alikvot se v množství 0,1 ml přenese do nové tuby, přidají se 3 ml GOPOD roztoku a spolu se slepým pokusem a standardem se inkubují při 50 °C 20 minut. Na spektrofotometru se odečte absorbance.

4.6 Stanovení škrobu ve vzorcích, které obsahují D-glukosu a/nebo maltodextriny

Vzorky trávenin:

Vzorky se namelou na mlýnku se sítem 1 mm (lepší 0,5 mm). Každý vzorek se naváží 2x po 0,1 g a vloží do falkonky na 15 ml. Poté se přidá 5 ml ethanolu (80 %), vzorky se promíchají ve vortexu a dají se inkubovat při 80-85 °C po dobu 10 minut. Pak se přidá dalších 5 ml

ethanolu. Vše se dá do centrifugy po dobu 10 minut při 3000 otáčkách. Odstraní se supernatant. Pelet se rozpustí v 10 ml ethanolu a zamíchá se ve vortexu. Opět se dají do centrifugy na 10 minut při 3000 otáčkách a poté se supernatant opatrně vylije. Hned na to se přidají 3 ml roztoku termostabilní amylázy (obsah láhve 1 v poměru 1:30 s činidlem 1, tedy pufrem octanu sodného, pH 5). Vše se inkubuje ve vařící vodě 12 minut (pro plastové zkumavky a míchat po 3 minutách ve vortexu). Tuby se následně vloží do vodní lázně zahřáté na 50 °C, přidá se 0,1 ml obsahu z láhve 2 (amyloglukosidasa, 330 U) a inkubují se 30 minut, přičemž se po 5 minutách promíchávají ve vortexu. Pak se objem zkumavky doplní do 10 ml destilovanou vodou, zamíchá se a odstředí se v centrifuze po dobu 10 minut a 3000 otáčkách. Ze supernatantu se odebere 1 ml naředí se destilovanou vodou do 10 ml. Vzniklý alikvot se v množství 0,1 ml přenese do nové tuby, přidají se 3 ml GOPOD roztoku a spolu se slepým pokusem a standardem se inkubují při 50 °C 20 minut. Na spektrofotometru se odečte absorbance.

Standard se vytvoří smícháním 0,1 ml standardu D-glukosy ($1mg.1ml^{-1}$) s 3 ml GOPOD (roztok 4).

Slepý pokus se vytvoří smícháním 0,1 ml destilované vody a 3 ml GOPOD.

Roztok 1 vznikne smícháním 29 ml činidla 1 s 1 ml obsahu láhve 1 (na 10 vzorků). Přebytek roztoku lze uchovat v mrazáku při – 10 °C.

Činidlo 1 (pufr) vznikne smícháním 900 ml destilované vody ke které se přidá 5,8 ml ledové kyseliny octové. Pro srovnání pH se přidává 1M (4 g na litr) hydroxidu sodného. Spotřeba bude přibližně 30 ml. Pak se přidá 0,74 g chloridu vápenatého dihydrátu, objem se doplní po rysku a skladuje se při 4 °C. Obvyklá stabilita je cca 2 měsíce (při 4 °C), ale lze ji prodloužit přídavkem 0,2 g azidu sodného na litr pufru.

U roztoku 2 se použije obsah láhve 2 tak jak je dodána. Roztok je viskózní, a proto by měl být aplikován pozitivním způsobem (do pipety nabrat až z druhé úrovně a z ní aplikovat na první úroveň).

Roztok 3 se vytvoří smícháním obsahu láhve 3 (GOPOD) s vodou a doplní se do jednoho litru. Použití je okamžitě po namíchání.

Roztok 4 GOPOD vznikne rozpuštěním obsahu láhve č. 4 ve 20 ml roztoku 3 a kvantitativně se převede do zbytku roztoku 3. Láhev se uchová zabalená v hliníkové fólii jako ochrana před světlem. Jedná se o roztok pro stanovení glukosy a je cca 2-5 °C, nebo více než 12 měsíců při – 10 °C. Pokud se roztok bude skladovat pomocí zamražení, měl by se rozdělit na více částí s menším objemem, protože ho lze rozmrazit pouze jednou.

Aplikace na mikrotitrační destičku je 0,1 ml na jednu jamku (Kacerovsky et al. 1990).

4.7 Použití metody NIR

Pro vyhodnocení v oblasti blízkého infračerveného spektra byl použit přístroj Infralum FT12 (Alumex). Vzorky našrotované na mlýnku Cyclotec 1020 (Foss) se sítem 1 mm byly proměřovány v kyvetě se šířkou 1,5 mm. Každý z měřených vzorků pšenic a trávenin zkoumaných pšenic byl proměřen třikrát pro stanovení odchylky vznikající při nasypání vzorku do kyvety. Po proměření byly ke zkoumaným vzorků přiřazeny hodnoty stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu zjištěné in vivo.

Kalibrační křivka byla vyhodnocena v programu SpectraLUMPro spolu se statistickým vyhodnocením v podobě regresní rovnice, koeficientu determinance a grafického znázornění měřených hodnot.

4.8 Statistické vyhodnocení

Získaná data byla vyhodnocena v programech Microsoft Excel (Microsoft Office) a SpectraLUMPro (Alumex).

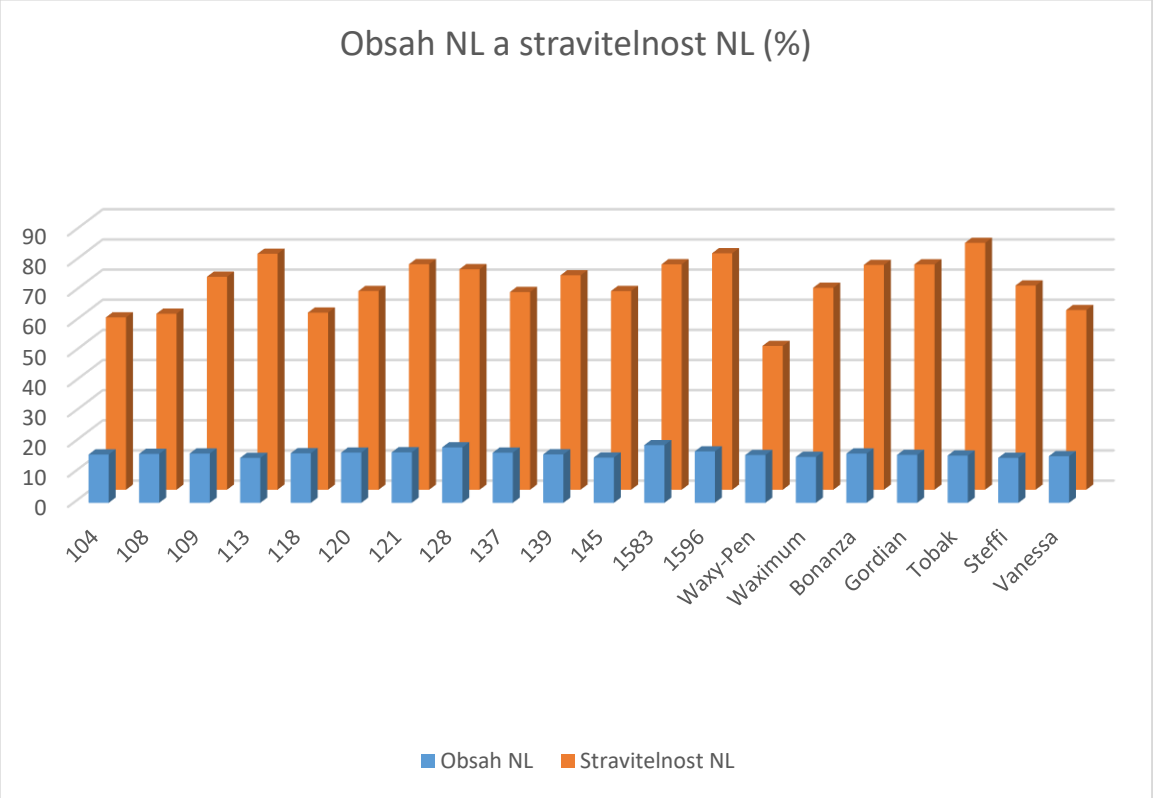
5 Výsledky

5.1 Sledované živiny u pšenice

Tabulka 1: Přehled NL, stravitelnosti NL, přítomnost žitných translokací a označení pekařské kvality

Odrůda	NL (%)	Stravitelnost NL (%)	Žitná translokace
104	16,04	57,17	Ne
108	16,23	58,38	Ano
109	16,35	70,64	Ne
113	14,90	78,27	Ne
118	16,43	58,75	Ano
120	16,65	65,92	Ano
121	16,75	74,82	Ne
128	18,37	73,16	Ne
137	16,63	65,59	Ano
139	16,08	71,14	Ano
145	15,01	65,91	Ano
1583	19,12	74,77	-
1596	17,05	78,43	-
Waxypen	15,86	47,70	-
Waximum	15,23	66,98	-
			Pekařská kvalita
Bonanza	16,34	74,56	C
Gordian	15,90	74,75	B
Tobak	15,68	81,88	B
Steffi	14,91	67,73	A
Vanessa	15,46	59,60	C

Graf číslo 1: Obsah NL a stravitelnost NL (%)



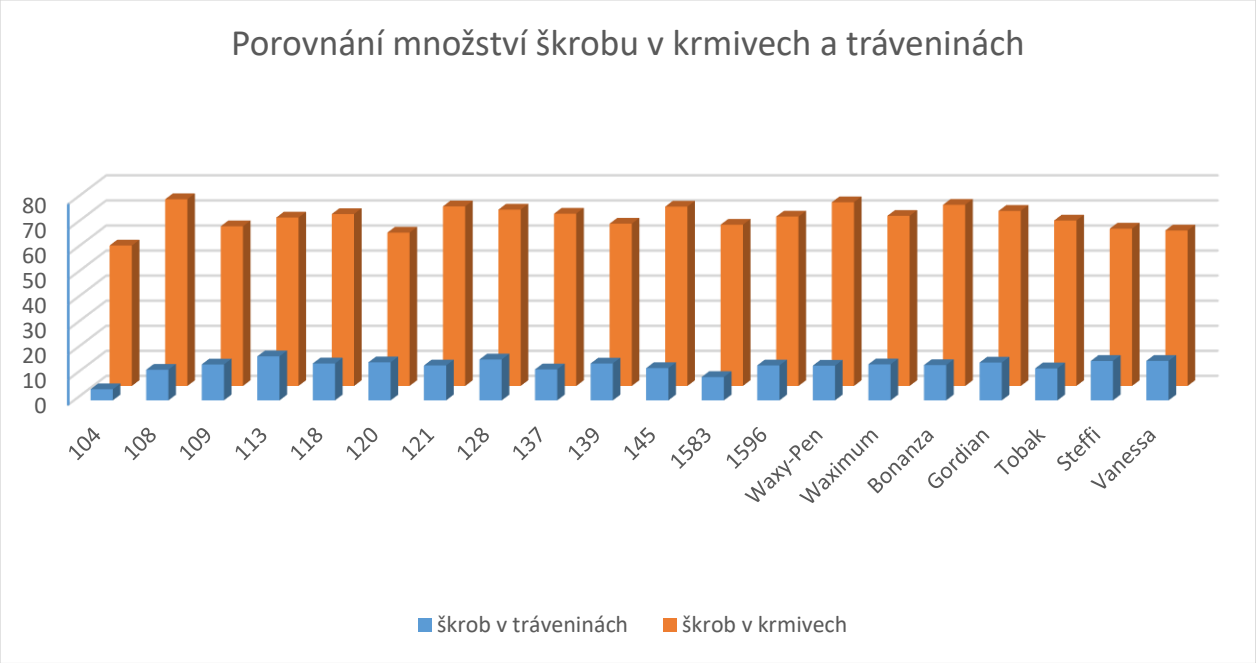
Obsah NL u 20 vzorků pšenice se pohybuje v rozmezí 14,90 až 19,12 %, přičemž průměrná hodnota je 16,25 % NL. U DH linií 08 má nejnižší obsah NL odrůda 103 (14,90 %) a naopak nejvyšší obsah má odrůda 128 (18,37 %). U tzv. jarních pšenic je obsah NL poměrně vysoký. U odrůdy číslo 1583 je obsah 19,12 % NL a u odrůdy 1596 je obsah 17,05 % NL. U tzv. waxy pšenic byl obsah dusíkatých látek mírně podprůměrný. Mezi komerčními pšenicemi má nejnižší obsah NL odrůda Steffi (14,91 %) a nejvyšší odrůda Bonanza (16,34 %). Celkově má nejvyšší obsah NL odrůda 1583 a nejnižší odrůda 103.

Stravitelnost NL se pohybuje v rozmezí 47,70 až 81,88 % a průměrná hodnota je 67,98 %. Z DH linií 08 má nejlepší stravitelnost NL odrůda 113. Stravitelnosti jarních pšenic je nadprůměrná. Naopak waxy pšenice přesněji odrůda waxypen má stavitelnost NL pouze 47,70 %. Z komerčních pšenic má nejlepší hodnotu stravitelnosti odrůda Tobak (81,88 %). Ze všech 20 vzorků vyšla nejlepší stravitelnost NL u odrůdy Tobak a nejhorší u odrůdy waxypen.

Tabulka 2: Obsah škrobu v krmivech, tráveninách a stravitelnost škrobu (%)

Odrůda	**Obsah škrobu v krmivech (%)**	**Obsah škrobu v tráveninách (%)**	**Stravitelnost škrobu (%)**
104	56,03	4,45	96,64
108	74,51	12,22	88,47
109	63,7	14,34	84,71
113	67,18	17,57	79,24
118	68,61	14,73	83,83
120	61,18	15,17	83,01
121	71,65	13,93	86,15
128	70,37	16,33	87,84
137	68,76	12,38	91,92
139	64,74	14,73	83,49
145	71,54	12,88	93,36
1583	64,35	9,32	93,02
1596	67,56	13,96	86,92
Waxypen	73,3	13,85	85,85
Waximum	67,88	14,39	88,81
Bonanza	72,29	14,09	91,58
Gordian	69,86	15,08	91,23
Tobak	66,03	12,77	90,07
Steffi	62,77	15,74	93,78
Vanessa	62,05	15,77	80,42

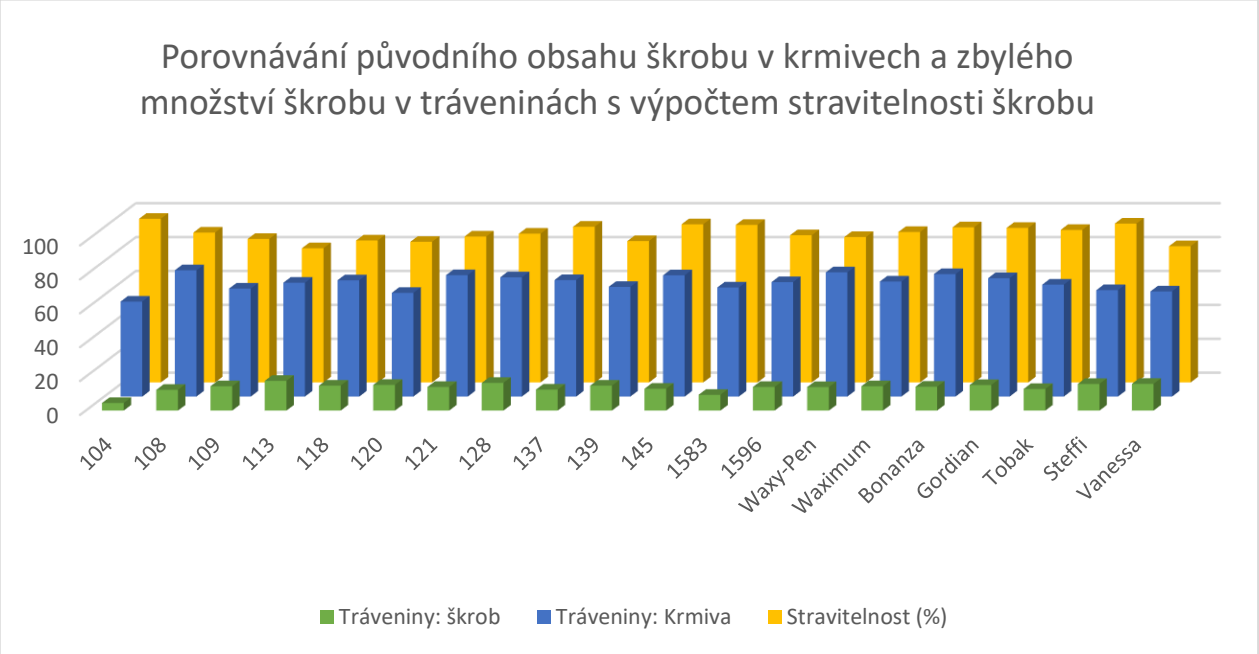
Graf číslo 2: Porovnání množství škrobu v krmivech a tráveninách



Obsah škrobu se u vzorků pšenice pohybuje mezi 56,03-74,51 %. Průměrná hodnota škrobu je 67,22 %. Z DH linií 08 má nejmenší obsah škrobu odrůda 104 (56,03 %) a nejvyšší odrůda 108 (74,51 %). Zároveň jsou to hodnoty minima a maxima z celé skupiny 20 vzorků krmiv. U odrůd tzv. jarních pšenic se obsah škrobu pohybuje kolem průměrné hodnoty. Odrůdy tzv. waxy pšenicí mají nadprůměrné hodnoty škrobu. Waxypen má 2. nejvyšší hodnotu škrobu (73,3 %) a obsah škrobu u Waximum pšenice je průměrný (67,88 %). Z komerčních pšenic má nadprůměrný obsah škrobu Bonanza (72,29 %) a nejnižší odrůda Vanessa (62,05 %).

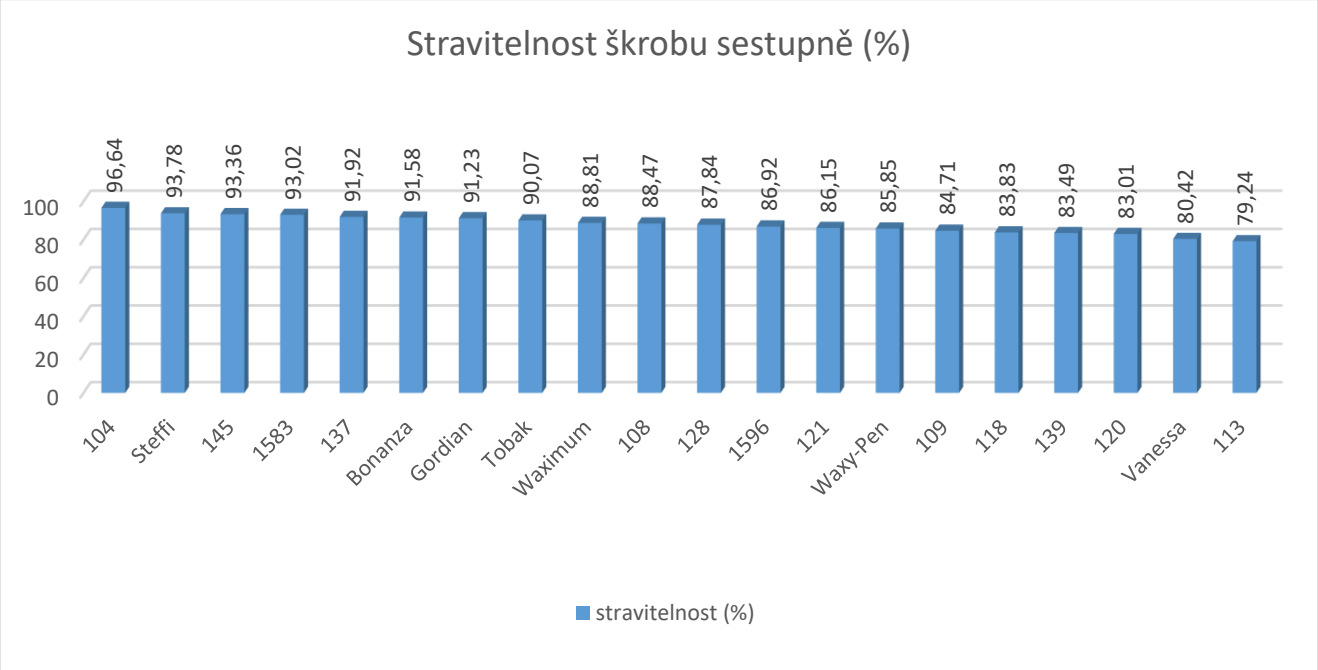
Výsledky obsahu škrobu v tráveninách jsou následující. Nejmenší hodnotou je 4,45 % (odrůda 104) a nejvyšší 17,57 % (odrůda 113). Průměrná hodnota ze všech vzorků je 13,69 %. U DH linií jsou opět nejvyšší a nejnižší hodnoty shodné s max. a min. hodnoty celé skupiny. U jarní pšenice, odrůda 1583, je hodnota škrobu 2. nejnižší (9,32 %). U odrůdy 1596 lehce nad průměrnou hodnotou (13,96 %). U waxy pšenic je obsah škrobu v tráveninách nadprůměrnou hodnotou. U komerčních pšenic je nejnižší hodnota u odrůdy Tobak (12,77 %) a nejvyšší u odrůdy Vanessa (15,77 %).

Graf číslo 3: Porovnání škrobu v krmivech a tráveninách s konečnou stravitelností škrobu



Největší obsah škrobu v krmivech měla odrůda 108 (74,51 %) a nejnižší měla odrůda 104 (56,03 %). Největší obsah škrobu v tráveninách měla odrůda 113 (17,57 %) a nejnižší odrůda 104 (4,45 %). Největší stravitelnost škrobu byla u odrůdy 104 (96,64 %). Nejnižší hodnoty byly naopak u odrůdy 113 (79,24 %). Průměrná hodnota stravitelnosti je 88,02 %.

Graf číslo 4: Zobrazení stravitelnosti škrobu (sestupně)



Podle grafu číslo 4 je zjevné, že nejlepší stravitelnost byla u odrůdy 104 (96,64 %), která se řadí k DH linii 08. Mezi tuto linii se řadí i odrůda 113, která má naopak nejmenší stravitelnost (79,24 %). Z tzv. jarních pšenic má nadprůměrnou stravitelnost odrůda 1583 (93,02 %). Waxy pšenice mají stravitelnost kolem hodnoty průměru. Druhou nejlepší stravitelnost škrobu má komerční pšenice odrůda Steffi (93,78 %). Z ostatních komerčních pšenic se odrůdy Bonanza, Gordian i Tobak drží nad hranicí stravitelnosti 90 %. Jediná odrůda Vanessa se výsledky vymyká. Má 2. nejmenší stravitelnost z celého souboru (80,42 %).

5.2 Statistické vyjádření výsledku

Tabulka 3: Základní popisné statistiky stravitelnosti NL

odrůdy	n	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	s	min	max
s žitnou translokací	6	64,28 ±0,557	4,46	58,38	71,14
bez žitné translokace	5	70,81± 0,862	7,26	57,17	78,27
jarní	2	76,6 ± 0,209	1,83	-	-
waxy	2	57,34 ± 1,273	9,64	-	-
komerční	5	71,7 ± 0,889	7,53	59,6	81,88
KS škrob	20	68,31 ± 1,021	8,44	47,7	81,88

U pšenic s žitnou translokací byla průměrná stravitelnost NL a střední chyba statistického průměru 64,28 (%) ± 0,557 a směrodatná odchylka byla 4,46 %. Minimální hodnota byla 58,38 % a maximální 71,14 %.

U skupiny pšenic bez žitných translokací byla průměrná stravitelnost NL a střední chyba statistického průměru 70,81 (%) ± 0,862 a směrodatná odchylka byla 7,26 %. Minimální hodnota byla 57,17 % a maximální 78,27 %.

Jarní pšenice měly průměrnou stravitelnost NL a střední chybu statistického průměru 76,6 (%) ± 0,209 a směrodatná odchylka byla 1,83 %.

Waxy pšenice měly průměrnou stravitelnost NL a střední chybu statistického průměru 57,34 (%) ± 1,273 a směrodatná odchylka byla 9,64 %.

U komerčních odrůd pšenice byla průměrná stravitelnost NL a střední chyba statistického průměru 71,7 (%) ± 0,889 a směrodatná odchylka byla 7,53 %. Minimální hodnota byla 59,6 % a maximální 81,88 %.

Všechny pšenice dohromady měly průměrnou stravitelnost NL a střední chybu statistického průměru 68,31 (%) ± 1,021 a směrodatná odchylka byla 8,44 %. Minimální hodnota byla 47,7 % a maximální 81,88 %.

Tabulka 4: Základní popisné statistiky stravitelnosti škrobu

odrůdy	n	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	s	min	max
s žitnou translokací	6	87,35 ± 0,446	4,17	83,01	93,36
bez žitné translokace	5	86,92 ± 0,606	5,65	79,24	96,64
jarní	2	89,97± 0,322	3,05	-	-
waxy	2	87,33 ± 0,158	1,48	-	-
komerční	5	89,42 ± 0,492	4,66	80,42	93,42
KS škrob	20	88,02 ± 0,490	4,6	79,24	96,64

U pšenic s žitnou translokací byla průměrná stravitelnost škrobu a střední chyba statistického průměru 87,35 (%) ± 0,446 a směrodatná odchylka byla 4,17 %. Minimální hodnota byla 83,01 % a maximální 93,36 %.

U skupiny pšenic bez žitných translokací byla průměrná stravitelnost škrobu a střední chyba statistického průměru 86,92 (%) ± 0,606 a směrodatná odchylka byla 5,65 %. Minimální hodnota byla 79,24 % a maximální 96,64 %.

Jarní pšenice měly průměrnou stravitelnost škrobu a střední chybu statistického průměru 89,97 (%) ± 0,322 a směrodatná odchylka byla 3,05 %.

Waxy pšenice měly průměrnou stravitelnost škrobu a střední chybu statistického průměru 87,33 (%) ± 0,158 a směrodatná odchylka byla 1,48 %.

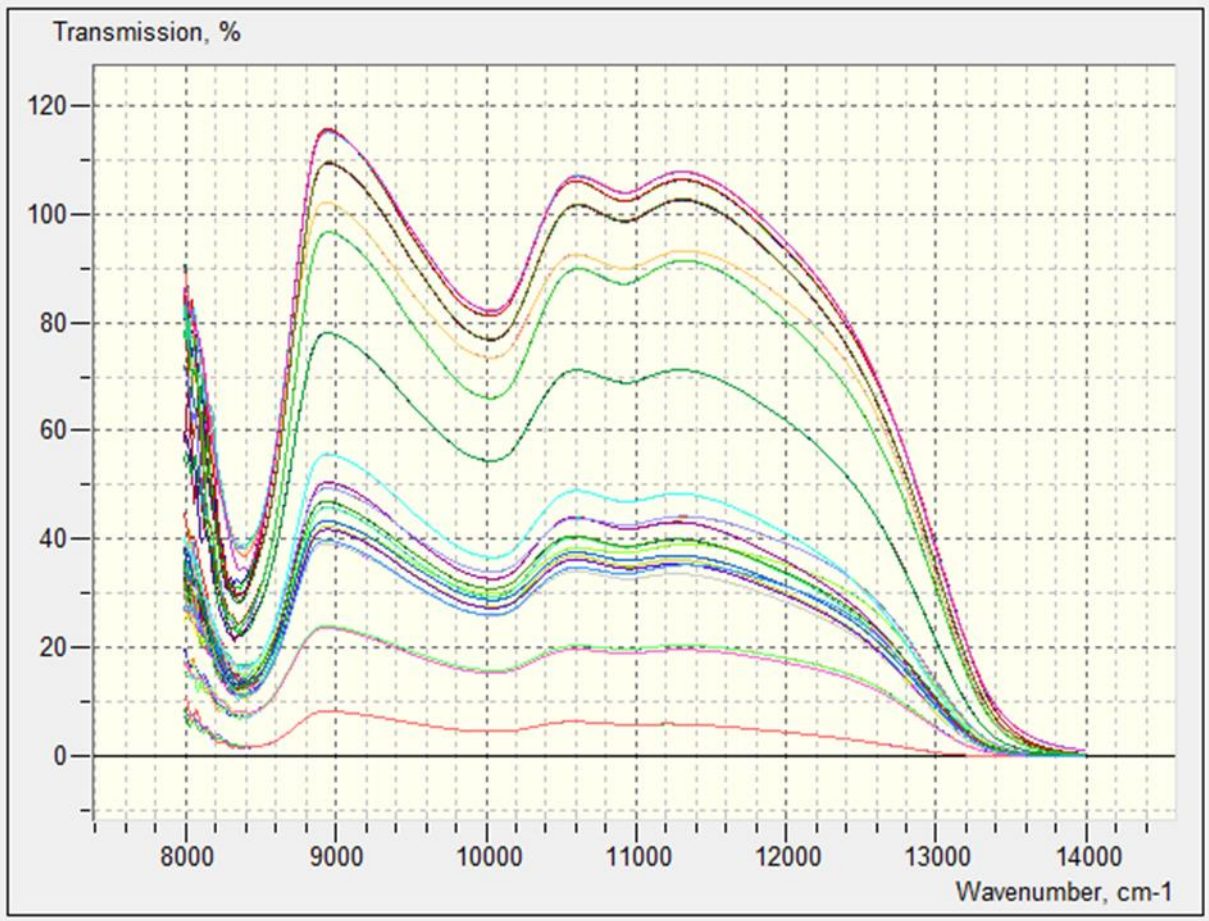
U komerčních odrůd pšenice byla průměrná stravitelnost škrobu a střední chyba statistického průměru 89,42 (%) ± 0,492 a směrodatná odchylka byla 4,66 %. Minimální hodnota byla 80,42 % a maximální 93,42 %.

Všechny pšenice dohromady měly průměrnou stravitelnost škrobu a střední chybu statistického průměru 88,02 (%) ± 0,490 a směrodatná odchylka byla 4,6 %. Minimální hodnota byla 79,24 % a maximální 96,64 %.

5.3 Výsledky NIR měření

5.3.1 Výsledky NIR pro stravitelnost NL u krmiv

Graf číslo 5: Transmitance vlnových délek u pšenic k vyhodnocení stravitelnosti NL



Tento graf vyhodnocuje krmivo (pšeničný šrot) při různých vlnových délkách a hledá optimální vlnovou délku pro vyhodnocení stravitelnosti NL.

Prediktivní regresní rovnice pro stravitelnost NL u krmiv je následující:

$$\mathbf{y} = 9{,}4181 + 0{,}8645\ \mathrm{x}$$

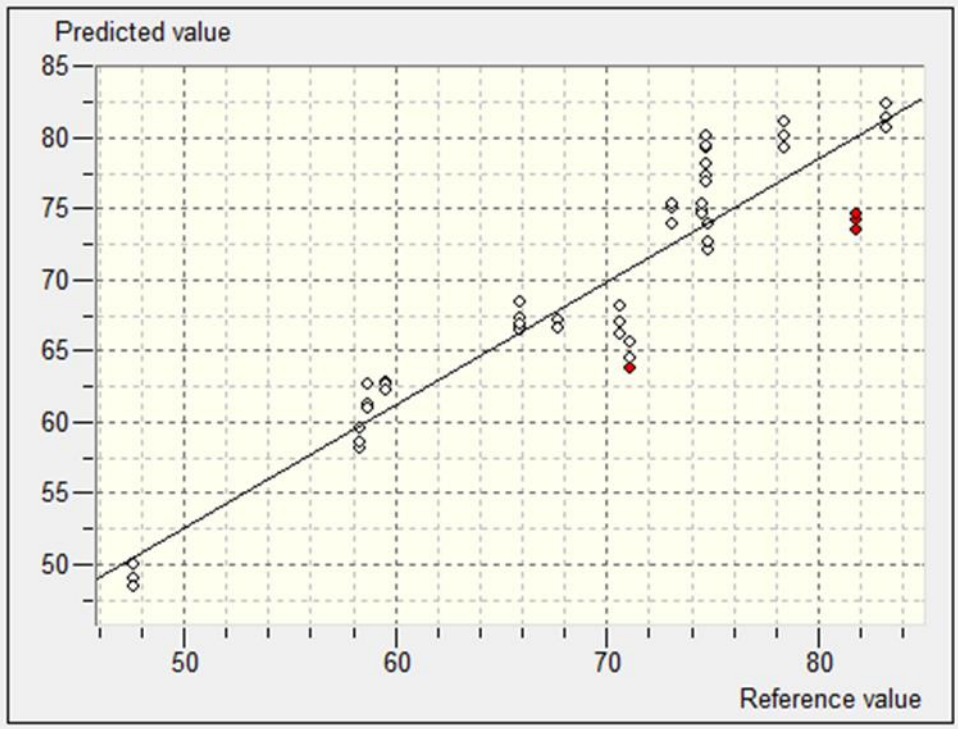
Kde:

y= stravitelnost NL

x= vlnová délka

Koeficient determinance (R^2) vychází 0,8527. Čím blíže je výsledná hodnota blíže k číslu 1, tím silnější je závislost. V tomto případě se jedná o silnou závislost.

Graf číslo 6: Grafické znázornění koeficientu determinance pro pšenice a jejich stravitelnost NL



V optimálním případě by všechny měřené hodnoty byly na vyznačené přímce nebo co nejblíže u ní. Popisovaný graf s regresní přímkou nemá velký rozptyl naměřených hodnot, jelikož výsledný koeficient determinance je vysoký (85,27 %).

Tabulka 5: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u pšenic a jejich stravitelnosti NL

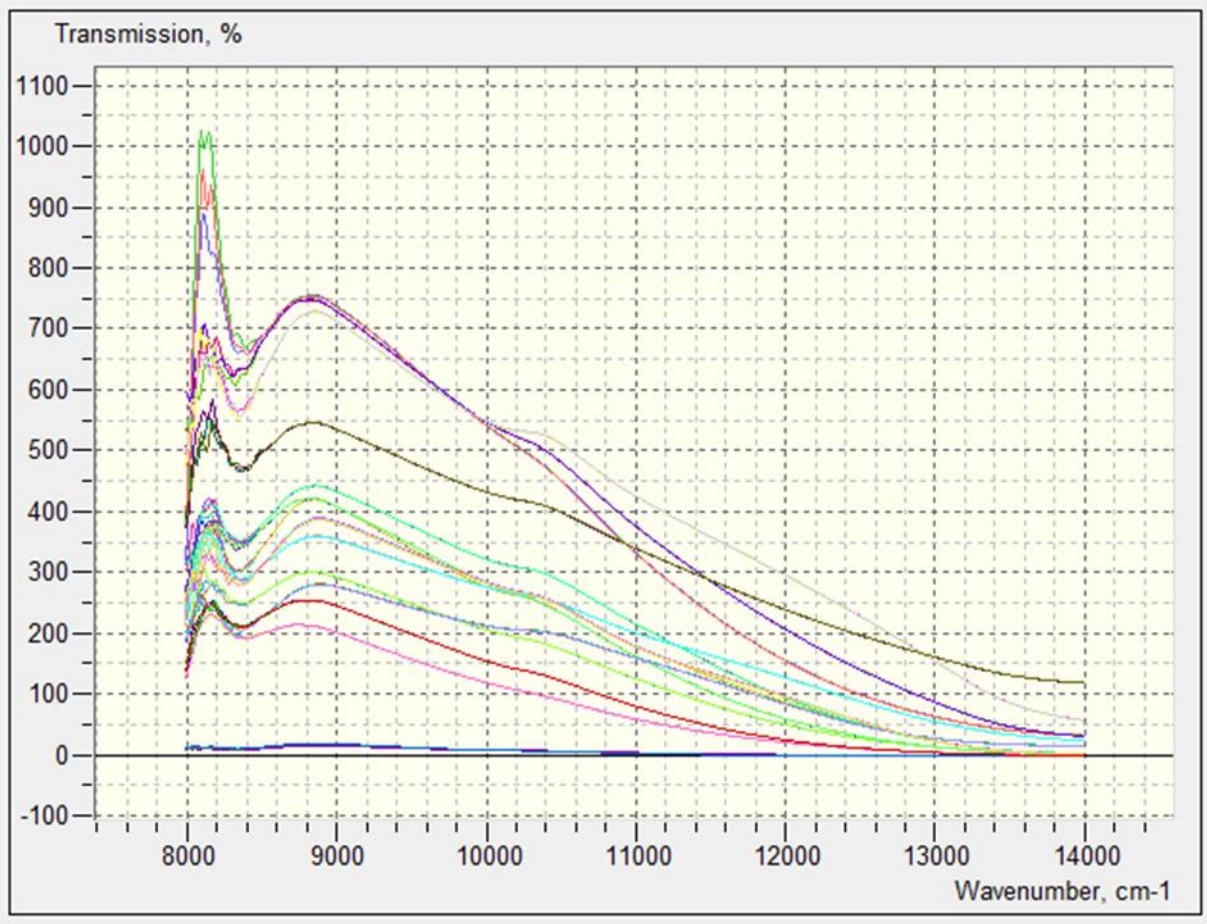
#	Spectra	Ref. data	Pred. data	Ref.-Pred.	Ref.-Pred.,%
1	108-01	58.38	59.63	-1.25	-2.1
2	108-02	58.38	58.59	-0.21	-0.4
3	108-03	58.38	58.18	0.20	0.3
4	109-01	70.64	68.25	2.39	3.4
5	109-02	70.64	67.07	3.57	5.1
6	109-03	70.64	66.27	4.37	6.2
7	118-01	58.75	62.74	-3.99	-6.8
8	118-02	58.75	61.35	-2.60	-4.4
9	118-03	58.75	61.09	-2.34	-4.0
10	120-01	65.92	67.38	-1.46	-2.2
11	120-02	65.92	66.95	-1.03	-1.6
12	120-03	65.92	66.58	-0.66	-1.0
13	121-01	74.82	73.96	0.86	1.1
14	121-02	74.82	72.77	2.05	2.7
15	121-03	74.82	72.20	2.62	3.5
16	128-01	73.16	75.13	-1.97	-2.7
17	128-02	73.16	75.45	-2.29	-3.1
18	128-03	73.16	73.92	-0.76	-1.0
19	139-01	71.14	65.74	5.40	7.6
20	139-02	71.14	64.51	6.63	9.3
21	139-03	71.14	63.81	7.33 (!)	10.3
22	145-01	65.91	68.45	-2.54	-3.9
23	145-02	65.91	67.44	-1.53	-2.3
24	145-03	65.91	66.65	-0.74	-1.1
25	1583-01	74.77	78.22	-3.45	-4.6
26	1583-02	74.77	77.31	-2.54	-3.4
27	1583-03	74.77	76.96	-2.19	-2.9
28	1596-01	78.43	81.11	-2.68	-3.4
29	1596-02	78.43	80.14	-1.71	-2.2
30	1596-03	78.43	79.27	-0.84	-1.1
31	Bonanza-01	74.56	75.38	-0.82	-1.1
32	Bonanza-02	74.56	74.96	-0.40	-0.5
33	Bonanza-03	74.56	74.66	-0.10	-0.1
34	Gordian-01	74.75	80.13	-5.38	-7.2
35	Gordian-02	74.75	79.38	-4.63	-6.2
36	Gordian-03	74.75	79.43	-4.68	-6.3
37	Steffi-01	67.73	67.24	0.49	0.7
38	Steffi-02	67.73	66.63	1.10	1.6
39	Steffi-03	67.73	66.65	1.08	1.6
40	Tobak-01	81.88	74.66	7.22 (!)	8.8
41	Tobak-02	81.88	74.24	7.64 (!)	9.3
42	Tobak-03	81.88	73.51	8.37 (!)	10.2
43	Vanessa-01	59.60	62.86	-3.26	-5.5
44	Vanessa-02	59.60	62.79	-3.19	-5.3
45	Vanessa-03	59.60	62.25	-2.65	-4.5
46	Vaximum-01	83.25	82.36	0.89	1.1
47	Vaximum-02	83.25	81.40	1.85	2.2
48	Vaximum-03	83.25	80.78	2.47	3.0
49	Waxypen-01	47.70	50.03	-2.33	-4.9
50	Waxypen-02	47.70	49.15	-1.45	-3.0
51	Waxypen-03	47.70	48.57	-0.87	-1.8

Ve sloupečku „Ref. data“ se nachází hodnoty stravitelnosti NL, které byly zjištěny pomocí laboratorních chemických metod. Ve sloupečku „Pred. data“ jsou vypočítané hodnoty pro stravitelnost NL podle navržené prediktivní regresní rovnice. Červeně vyobrazené odrůdy

a hodnoty poukazují na to, že predikce stravitelnosti zde nevychází tak přesně. Jedná se o odrůdy 139, kde u 3. měření byl rozdíl mezi referenční hodnotou a prediktivní hodnotou 7,33 a odrůdu Tobak, kde u každého ze 3 měření vycházel velký rozdíl hodnot. U 3. měření byl rozdíl 8,37.

5.3.2 Výsledky NIR pro stravitelnost NL u trávenin

Graf číslo 7: Transmitance vlnových délek u trávenin k vyhodnocení stravitelnosti NL



Graf číslo 7 vyhodnocuje tráveniny při různých vlnových délkách a hledá optimální vlnovou délku pro vyhodnocení stravitelnosti NL.

Prediktivní regresní rovnice pro stravitelnost NL u trávenin je následující:

$$\mathbf{y} = 9{,}6580 + 0{,}8614\,\mathrm{x}$$

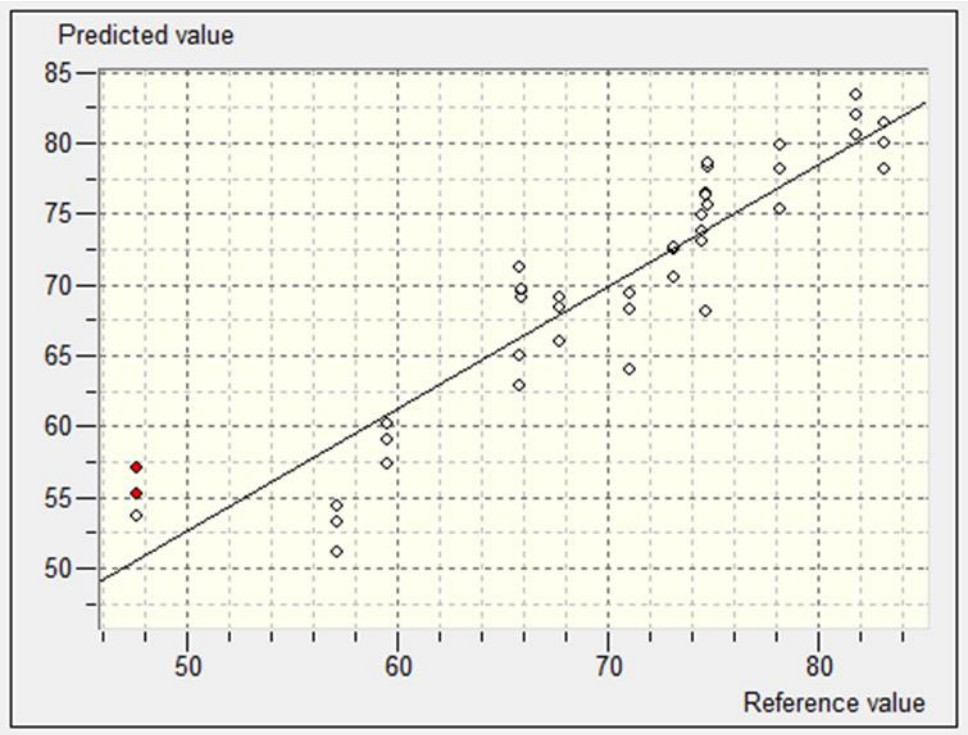
Kde:

y= stravitelnost NL

x= vlnová délka

Z koeficientu determinance pro tráveniny vyplývá, že se jedná o silnou závislost (R^2= 0,8465. Hodnota R^2 pro krmiva (85,27 %) je mírně vyšší než R^2 pro tráveniny (84,65 %).

Graf číslo 8: Grafické znázornění koeficientu determinance pro tráveniny a jejich stravitelnost NL



Naměřené hodnoty opět nemají velký rozptyl od regresní přímky, jelikož hodnota R^2 vychází 84,65 %, což znamená silnou závislost.

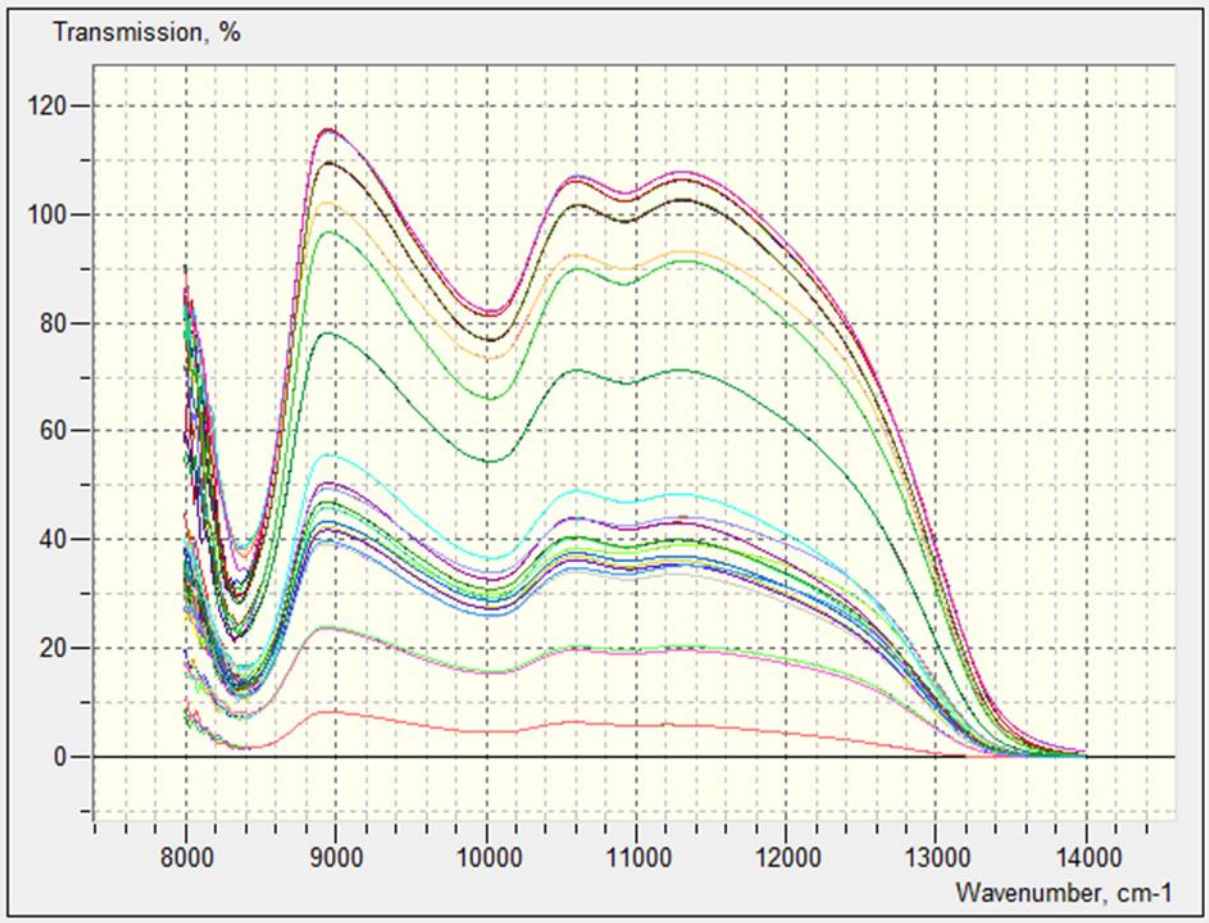
Tabulka 6: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u trávenin a jejich stravitelnosti NL

#	Spectra	Ref. data	Pred. data	Ref.-Pred.	Ref.-Pred.,%
1	104-01	57.17	53.41	3.76	6.6
2	104-02	57.17	51.28	5.89	10.3
3	104-03	57.17	54.44	2.73	4.8
4	113-01	78.27	79.95	-1.68	-2.1
5	113-02	78.27	78.29	-0.02	-0.0
6	113-03	78.27	75.38	2.89	3.7
7	120-01	65.92	69.16	-3.24	-4.9
8	120-02	65.92	69.58	-3.66	-5.5
9	120-03	65.92	69.81	-3.89	-5.9
10	121-01	74.82	75.66	-0.84	-1.1
11	121-02	74.82	78.66	-3.84	-5.1
12	121-03	74.82	78.36	-3.54	-4.7
13	128-01	73.16	72.74	0.42	0.6
14	128-02	73.16	70.66	2.50	3.4
15	128-03	73.16	72.58	0.58	0.8
16	139-01	71.14	68.39	2.75	3.9
17	139-02	71.14	64.09	7.05	9.9
18	139-03	71.14	69.49	1.65	2.3
19	145-01	65.91	62.94	2.97	4.5
20	145-02	65.91	71.33	-5.42	-8.2
21	145-03	65.91	65.03	0.88	1.3
22	Bonanza-01	74.56	73.18	1.38	1.8
23	Bonanza-02	74.56	73.84	0.72	1.0
24	Bonanza-03	74.56	75.03	-0.47	-0.6
25	Gordian-01	74.75	76.43	-1.68	-2.2
26	Gordian-02	74.75	68.15	6.60	8.8
27	Gordian-03	74.75	76.53	-1.78	-2.4
28	Steffi-01	67.73	68.48	-0.75	-1.1
29	Steffi-02	67.73	66.15	1.58	2.3
30	Steffi-03	67.73	69.23	-1.50	-2.2
31	Tobak-01	81.88	83.47	-1.59	-1.9
32	Tobak-02	81.88	82.13	-0.25	-0.3
33	Tobak-03	81.88	80.71	1.17	1.4
34	Vanessa-01	59.60	57.44	2.16	3.6
35	Vanessa-02	59.60	60.31	-0.71	-1.2
36	Vanessa-03	59.60	59.21	0.39	0.6
37	Vaximum-01	83.25	81.51	1.74	2.1
38	Vaximum-02	83.25	80.09	3.16	3.8
39	Vaximum-03	83.25	78.29	4.96	6.0
40	Waxypen-01	47.70	53.76	-6.06	-12.7
41	Waxypen-02	47.70	57.16	-9.46 (!)	-19.8
42	Waxypen-03	47.70	55.27	-7.57 (!)	-15.9

Ve sloupečku „Ref. data“ se nachází hodnoty stravitelnosti NL, které byly zjištěny pomocí laboratorních chemických metod. Ve sloupečku „Pred. data“ jsou vypočítané hodnoty pro stravitelnost NL podle navržené prediktivní regresní rovnice. Červeně vyobrazené odrůdy a hodnoty poukazují na to, že predikce stravitelnosti zde nevychází tak přesně. Jediná odrůda, u které predikce stravitelnosti nevychází je Waxypen. Predikce stravitelnosti vycházela o téměř 10 % více než u hodnot z laboratoře. Rozdíl hodnot „ref. dat“ a „pred. dat“ byl nejvíce -9,46.

5.3.3 Výsledky NIR pro stravitelnost škrobu u krmiv

Graf číslo 9: Transmitance vlnových délek u pšenic k vyhodnocení stravitelnosti škrobu



Vyhodnocení různých vlnových délek za účelem najít optimální vlnovou délku pro vyhodnocení stravitelnosti škrobu u krmiv (pšenice).

Prediktivní regresní rovnice pro stravitelnost škrobu u pšenice je následující:

$$\mathbf{y} = 25{,}2065 + 0{,}7111\ \mathrm{x}$$

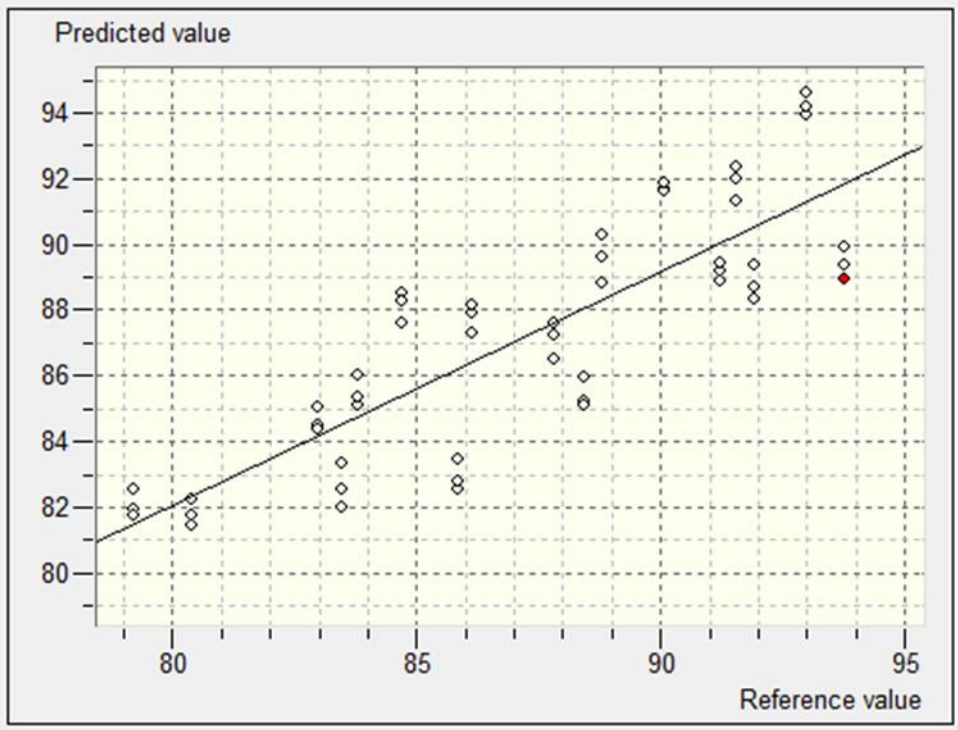
Kde:

y= stravitelnost škrobu

x= vlnová délka

Z koeficientu determinance vyplývá, že se jedná o střední závislost, jelikož výsledná hodnota je R^2=0,692693 (69,27 %).

Graf číslo 10: Grafické znázornění koeficientu determinance pro stravitelnost škrobu pšenice



Naměřené hodnoty mají větší rozptyl od regresní přímky, jelikož hodnota R^2 vychází 69,27 %, což znamená střední závislost.

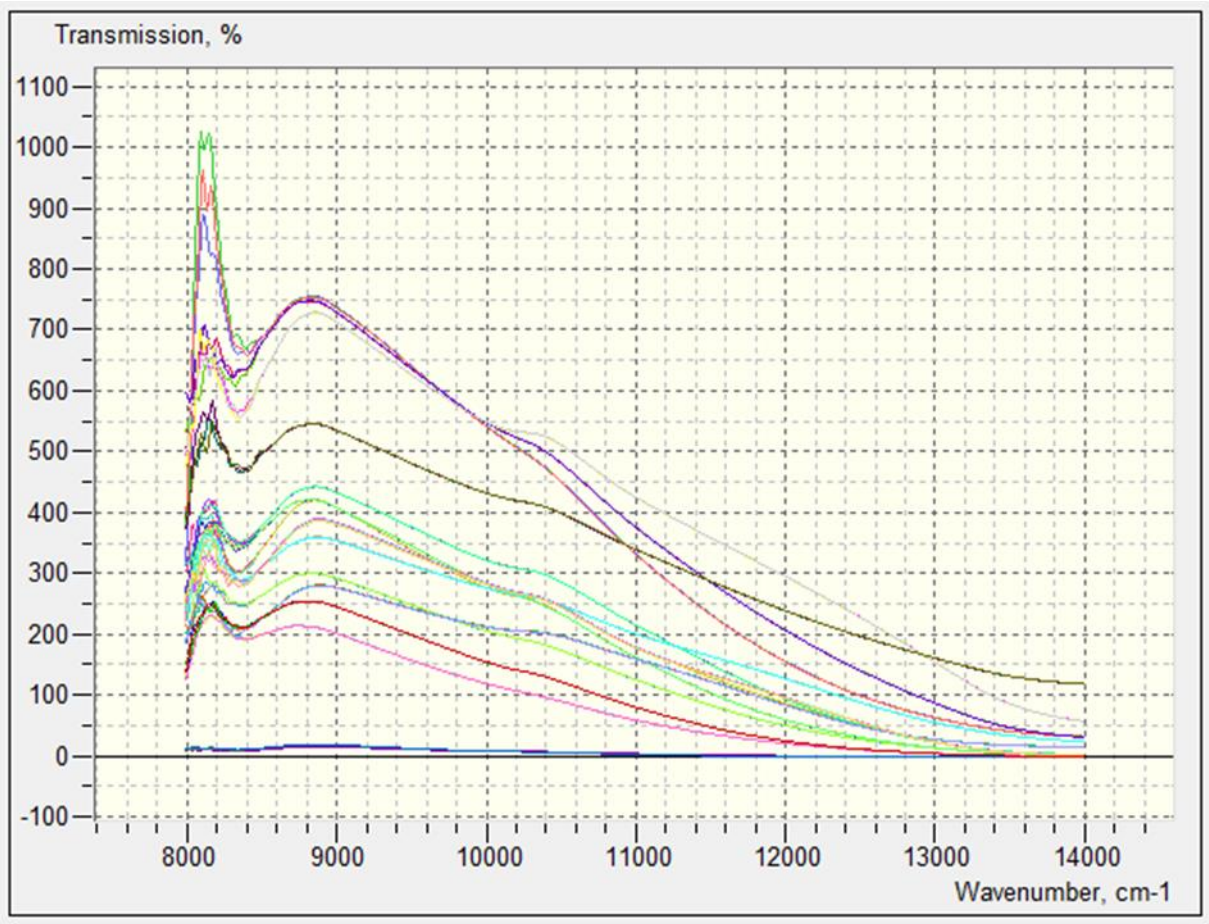
Tabulka 7: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u stravitelnosti škrobu pšenice

#	Spectra	Ref. data	Pred. data	Ref.-Pred.	Ref.-Pred.,%
1	108-01	88.47	85.99	2.48	2.8
2	108-02	88.47	85.26	3.21	3.6
3	108-03	88.47	85.14	3.33	3.8
4	109-01	84.71	88.57	-3.86	-4.6
5	109-02	84.71	88.28	-3.57	-4.2
6	109-03	84.71	87.63	-2.92	-3.5
7	113-01	79.24	82.57	-3.33	-4.2
8	113-02	79.24	81.95	-2.71	-3.4
9	113-03	79.24	81.77	-2.53	-3.2
10	118-01	83.83	86.05	-2.22	-2.7
11	118-02	83.83	85.36	-1.53	-1.8
12	118-03	83.83	85.15	-1.32	-1.6
13	120-01	83.01	85.08	-2.07	-2.5
14	120-02	83.01	84.55	-1.54	-1.8
15	120-03	83.01	84.40	-1.39	-1.7
16	121-01	86.15	88.21	-2.06	-2.4
17	121-02	86.15	87.94	-1.79	-2.1
18	121-03	86.15	87.34	-1.19	-1.4
19	128-01	87.84	87.65	0.19	0.2
20	128-02	87.84	87.27	0.57	0.7
21	128-03	87.84	86.56	1.28	1.5
22	137-01	91.92	89.41	2.51	2.7
23	137-02	91.92	88.76	3.16	3.4
24	137-03	91.92	88.34	3.58	3.9
25	139-01	83.49	83.36	0.13	0.2
26	139-02	83.49	82.57	0.92	1.1
27	139-03	83.49	82.05	1.44	1.7
28	1583-01	93.02	94.63	-1.61	-1.7
29	1583-02	93.02	94.18	-1.16	-1.3
30	1583-03	93.02	93.99	-0.97	-1.0
31	Bonanza-01	91.58	92.37	-0.79	-0.9
32	Bonanza-02	91.58	91.99	-0.41	-0.4
33	Bonanza-03	91.58	91.37	0.21	0.2
34	Gordian-01	91.23	89.45	1.78	2.0
35	Gordian-02	91.23	89.23	2.00	2.2
36	Gordian-03	91.23	88.93	2.30	2.5
37	Steffi-01	90.07	91.93	-1.86	-2.1
38	Steffi-02	90.07	91.66	-1.59	-1.8
39	Steffi-03	90.07	91.72	-1.65	-1.8
40	Tobak-01	93.78	89.93	3.85	4.1
41	Tobak-02	93.78	89.42	4.36	4.6
42	Tobak-03	93.78	88.95	4.83 (!)	5.1
43	Vanessa-01	80.41	82.25	-1.84	-2.3
44	Vanessa-02	80.41	81.78	-1.37	-1.7
45	Vanessa-03	80.41	81.50	-1.09	-1.4
46	Vaximum-01	88.81	90.31	-1.50	-1.7
47	Vaximum-02	88.81	89.67	-0.86	-1.0
48	Vaximum-03	88.81	88.87	-0.06	-0.1
49	Waxypen-01	85.85	83.49	2.36	2.7
50	Waxypen-02	85.85	82.85	3.00	3.5
51	Waxypen-03	85.85	82.59	3.26	3.8

Ve sloupečku „ref. data“ se nachází hodnoty stravitelnosti NL, které byly zjištěny pomocí laboratorních chemických metod. Ve sloupečku „pred. data“ jsou vypočítané hodnoty pro stravitelnost NL podle navržené prediktivní regresní rovnice. Červeně vyobrazené odrůdy a hodnoty poukazují na to, že predikce stravitelnosti zde nevychází tak přesně. Jediná odrůda, která je červeně zvýrazněna, a tedy u ní predikce stravitelnosti nevychází je Tobak (3. měření). Vyšší stravitelnost vycházela u laboratorního měření, takže rozdíl hodnoty byl 4,83 %.

5.3.4 Výsledky NIR pro stravitelnost škrobu u trávenin

Graf číslo 11: Transmitance vlnových délek u trávenin k vyhodnocení stravitelnosti škrobu



Vyhodnocení různých vlnových délek za účelem najít optimální vlnovou délku pro vyhodnocení stravitelnosti škrobu u trávenin.

Prediktivní regresní rovnice pro stravitelnost škrobu u krmiv je následující:

$$\mathbf{y} = 10{,}8457 + 0{,}8740\ \mathrm{x}$$

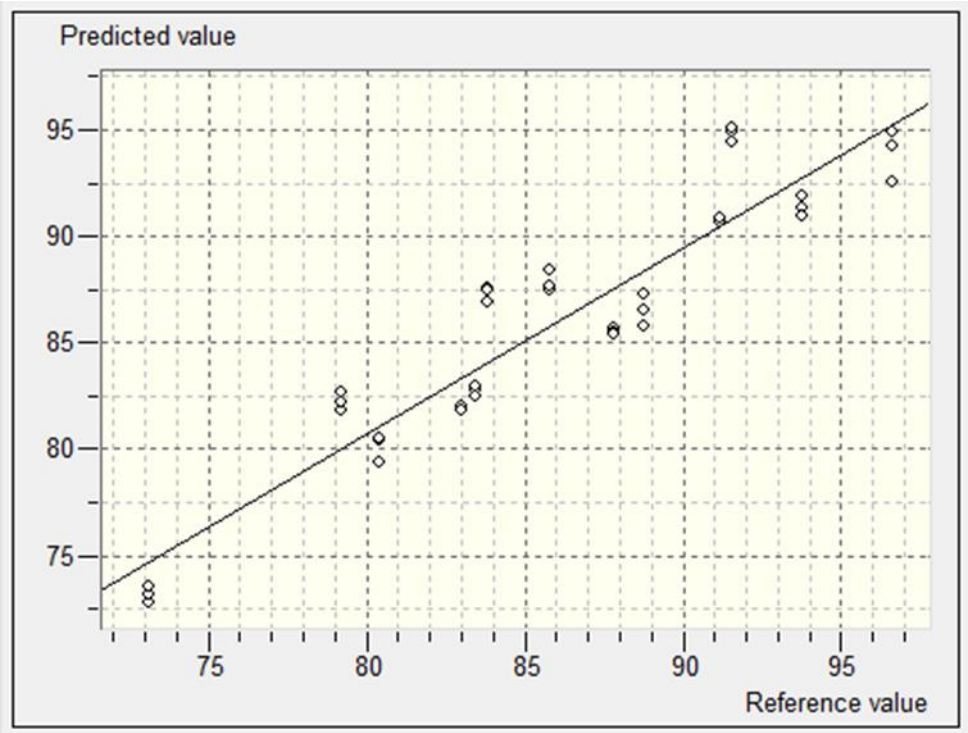
Kde:

y= stravitelnost škrobu

x= vlnová délka

Z koeficientu determinance vyplývá, že se jedná o silnou závislost, jelikož výsledná hodnota je R^2=0,863183 (86,32 %). Hodnota R^2 pro krmiva (69,27 %) je nižší než R^2 pro tráveniny (86,32 %). Predikci je tedy lepší použít u trávenin, kde bude přesnější než u krmiv.

Graf číslo 12: Grafické znázornění koeficientu determinance pro tráveniny a jejich stravitelnost škrobu



Naměřené hodnoty mají menší rozptyl od regresní přímky, jelikož hodnota R^2 vychází 86,32 %, což poukazuje na silnou závislost.

Tabulka 8: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u trávenin a jejich stravitelnosti škrobu

#	Spectra	Ref. data	Pred. data	Ref.-Pred.	Ref.-Pred.,%
1	104-01	96.63	92.61	4.02	4.2
2	104-02	96.63	94.98	1.65	1.7
3	104-03	96.63	94.29	2.34	2.4
4	113-01	79.24	82.72	-3.48	-4.4
5	113-02	79.24	81.89	-2.65	-3.3
6	113-03	79.24	82.24	-3.00	-3.8
7	118-01	83.83	87.63	-3.80	-4.5
8	118-02	83.83	86.93	-3.10	-3.7
9	118-03	83.83	87.47	-3.64	-4.3
10	120-01	83.01	81.84	1.17	1.4
11	120-02	83.01	82.05	0.96	1.2
12	120-03	83.01	82.06	0.95	1.1
13	121-01	73.16	73.19	-0.03	-0.0
14	121-02	73.16	72.86	0.30	0.4
15	121-03	73.16	73.62	-0.46	-0.6
16	128-01	87.84	85.47	2.37	2.7
17	128-02	87.84	85.50	2.34	2.7
18	128-03	87.84	85.69	2.15	2.4
19	139-01	83.49	82.84	0.65	0.8
20	139-02	83.49	82.49	1.00	1.2
21	139-03	83.49	82.97	0.52	0.6
22	Bonanza-01	91.58	95.17	-3.59	-3.9
23	Bonanza-02	91.58	94.97	-3.39	-3.7
24	Bonanza-03	91.58	94.48	-2.90	-3.2
25	Gordian-01	91.23	90.89	0.34	0.4
26	Gordian-02	91.23	90.75	0.48	0.5
27	Gordian-03	91.23	90.82	0.41	0.4
28	Tobak-01	93.78	91.40	2.38	2.5
29	Tobak-02	93.78	91.93	1.85	2.0
30	Tobak-03	93.78	91.00	2.78	3.0
31	Vanessa-01	80.41	80.52	-0.11	-0.1
32	Vanessa-02	80.41	79.41	1.00	1.2
33	Vanessa-03	80.41	80.46	-0.05	-0.1
34	Vaximum-01	88.81	87.36	1.45	1.6
35	Vaximum-02	88.81	86.60	2.21	2.5
36	Vaximum-03	88.81	85.79	3.02	3.4
37	Waxypen-01	85.85	87.70	-1.85	-2.2
38	Waxypen-02	85.85	88.43	-2.58	-3.0
39	Waxypen-03	85.85	87.54	-1.69	-2.0

Ve sloupečku „ref. data“ se nachází hodnoty stravitelnosti NL, které byly zjištěny pomocí laboratorních chemických metod. Ve sloupečku „pred. data“ jsou vypočítané hodnoty pro stravitelnost NL podle navržené prediktivní regresní rovnice. Červeně vyobrazené odrůdy a hodnoty poukazují na to, že predikce stravitelnosti zde nevychází tak přesně. Ani jedna odrůda není označena červeně, což znamená, že predikce stravitelnosti byly úspěšné.

6 Diskuse

V této práci bylo sledováno 20 odrůd pšenice seté, u kterých byl zjištěn obsah NL a jejich stravitelnost, obsah škrobu s následnou stravitelností škrob. Nakonec byla zjišťována možnost stanovení těchto parametrů pomocí metody NIR.

Z výsledků dusíkatých látek lze zjistit, že průměrný obsah NL v pšenici je 16,25 %. Podle Amerah (2015) je hladina bílkovin v pšeničném zrnu velmi proměnlivá a obsah u komerčních pšenic se pohybuje od 8–16 %, v závislosti na odrůdě a podmínkách pěstování (hnojení N). Ne všichni se ale o obsahu NL shodují. Tichá & Vyzínová (2016) uvádějí pouze 6–12 % a Zelenka & Zeman (2006) 10–17 % obvykle však 11–14 %. To potvrzuje tvrzení, že pšeničné zrno může mít velmi variabilní chemické složení.

U zkoumaných vzorků se obsah NL pohyboval v rozmezí 14,90 až 19,12 %. Vzorky pšenice rozdělujeme do 4 skupin a to, DH linie 08, jarní pšenice, waxy pšenice a komerční pšenice. Z DH linií má nejmenší obsah NL odrůda 113 (14,90 %) a znatelně menší byl obsah i u odrůdy 145 (15,01 %). Naopak u odrůdy 128 byl obsah NL 2. největší (18,37 %). Ostatní odrůdy z této linie vycházely velmi podobně (>16 %). Výsledky obsahu NL obou jarních pšenic byly nadprůměrné. Odrůda 1583 měla nejvyšší obsah NL z celé skupiny zkoumaných vzorků (19,12 %). waxy pšenice byly naopak podprůměrné. Z komerčních pšenic má vyšší obsah NL pouze Bonanza (16,34 %) ostatní jsou podprůměrné.

Z výsledků u stavitelnosti NL vychází průměrná hodnota 67,98 %, minimální stravitelnost byla 47,70 % (Waxypen) a maximální stravitelnosti byla 81,88 % (Tobak). Ball et al (2013b) provedl studii se 164 vzorky pšenice různých odrůd. Z jejich výsledků vyplývá že minimální ileální stravitelnost hrubého proteinu je 70,3 % a maximální 83,2 %. Průměrná hodnota stavitelnosti NL vycházela na 76,9 %.

Z našich vzorků měla odrůda Tobak nejvyšší stravitelnost (81,88 %) a měla spíše podprůměrný obsah NL (15,68 %). Naopak odrůda 113 měla nejnižší obsah NL (14,90 %), ale měla 2. nejlepší stravitelnost ze všech 20 vzorků (78,27 %). Nejnižší stravitelnost měla odrůda waxypen (47,70 %), která měla i podprůměrnou hodnotu NL (15,86 %). Odrůda 1583 měla nejvyšší hodnotu NL z celé skupiny (19,12 %) a stravitelnost byla nadprůměrná (74,77 %).

Podle studie Lemme at al. (2004) je standardizovaný obsah ileální stravitelnosti hrubého proteinu v pšenici 88 %. Průměrná stravitelnost hrubého proteinu ve výsledcích této práce vychází 76,9 %. Dále uvádí, že pro přesnou skladbu krmiva a předpověď užitkovosti zvířat je lepší vycházet ze stravitelného obsahu AMK než z celkového. Ileální stravitelnost je

preferovaný přístup k odhadu dostupnosti AMK v krmivech. Z hlediska výživy je nejdůležitější AMK lysin, který je téměř výlučně používán k nárůstu tělesných bílkovin.

U škrobu z výsledků vyplývá, že průměrný obsah škrobu v pšenici je 67,22 %. Podle Amerah (2015) je škrob nejhojnějších sacharidem v pšenici a tvoří hlavní zdroje energie. Obsah škrobu v zrně se pohybuje od 60–75 %. Wiseman et al (2000) zase píše, že obsah škrobu v zrně závisí na druhu odrůdy a vnějších podmínkách. Jeho rozmezí se v pšenici pohybuje od 50–70%. Tomu odpovídají výsledky našeho pokusu. Obsah škrobu se pohybuje od 56,03- 74,51 % (odrůdy 104 a 108). Odrůda waxypen měla 2. nejvyšší hodnotu škrobu (73,7 %). Z komerčních pšenic má nejvyšší obsah škrobu odrůda Bonanza (72,29 %).

V tráveninách byla průměrná hodnota škrobu 13,69 %. Nejvyšší byl potom obsah škrobu u odrůdy 113 (17,57 %) a nejnižší u odrůdy 104 (4,45 %).

Největší stravitelnost škrobu byla podle výsledků u odrůdy 104 (96,64 %). Přestože měla nejnižší obsah škrobu v krmivech měla také nejnižší obsah škrobu v trávenině, proto má nejvyšší stravitelnost. Nejnižší hodnota stravitelnost vycházela u odrůdy 113 (79,24 %). U této odrůdy byl obsah škrobu v krmivu průměrný (67,18 %), ale obsah v tráveninách byl nejvyšší (17,57 %). Průměrná stravitelnost škrobu byla 88,02 %.

Ball et al (2013b) ve své studii, která je zmíněna již u NL, uvádí ileální stravitelnost škrobu, a to minimální hodnotu stravitelnosti 83,2 % a maximální 97,2 %. Průměrná stravitelnost byla 91,7 %.

Gutiérrez del Álamo et al. (2009) ve své studii zkoumali vliv hnojení na stavitelnost pšeničného škrobu u 3 odrůd pšenice. Každá odrůda byla pěstována při dvou aplikačních úrovních N. Jako nestravitelný marker použili 5 g/kg oxidu chromitého. Pokus probíhal na 400 kuřatech. Krmivo bylo zvířatům nabízeno ad libitum. Následně zkoumali stravitelnost škrobu a hrubého proteinu (CP). Pšeničný škrob byl jediným zdrojem pro stravitelnost škrobu, ale u CP bylo třeba vycházet hned z několika komponentů. K vyhodnocení se použily výkaly a trávenina z tenkého střeva. Podle nich může rozdíly ve stravitelnosti škrobu způsobit množství obsažených bílkovin, to však výsledky nepotvrdily.

Tabulka 9: Změny složení škrobu a CP při aplikování N – hnojiv

g/kg sušiny	Odrůda 1: N 1	Odrůda 1: N 2	Odrůda 2: N 1	Odrůda 2: N 2	Odrůda 3: N 1	Odrůda 3: N 1
škrob	773,6	718,8	747,5	681,1	745,4	725,5
CP	96,1	136,0	99,7	134,3	87,9	121,6

V tabulce 9 je vidět, že při každém hnojení se zvýšil obsah CP, ale o trochu se snížil obsah škrobu. Díky hnojení dusíkem (N) se zvýšil CP v jednotlivých odrůdách pšenice, ale na stravitelnost škrobu nemá hnojení N podle výsledků žádný vliv. Na stravitelnost škrobu má vliv meziodrůdová odlišnost.

Amerah (2015) zkoumal vliv fyzikálního i chemického složení zrna. Jako nejdůležitější fyzikální vlastnost zrna uvádí jeho tvrdost. Z chemického hlediska je podle něj důležitý obsah NSP. I Wiseman (2000) popisuje vliv vysoké variability u chemického složení různých druhů pšenice, především hladinu NSP, což má vliv na výkonnostní přírůstky u brojlerů. Amerah (2015) píše, že je běžnou praxí u krmiv pro brojlery přidávat xylanázu, která zmírňuje nežádoucí účinky NSP a pomáhá s minimalizací změn u AME.

Ball et al. (2013a) provedli studii jejíž cílem bylo stanovit vztah mezi fyzikálními a chemickými parametry pšenice na stravitelnost krmných složek u pšeničné stravy u kuřecích brojlerů. Do pokusu bylo vybráno 97 vzorků pšenice, které byly namlety na sítu s oky o průměru 5 mm. Krmivo bylo podáváno ad libitum. Jako nestravitelný marker byl použit oxid titaničitý. K vyhodnocení výsledků sušiny, stravitelnosti škrobu a bílkovin byl použit obsah tráveniny z tenkého střeva. Autoři se snažili porovnávat své výsledky s dalšími studiemi, ale narazili na problém, že žádná jiná studie neměřila tolik parametrů současně. Pokud se studie zaměřovaly pouze na jeden parametr, výsledky byly různé. Ovšem podle jejich poznatků vychází průměrná stravitelnost škrobu 91,7 % a průměrná stravitelnost hrubého proteinu vycházela na 76,9 %. Jedním z poznatků je, že míra stravitelnosti škrobu hraje důležitou roli ve výkonosti hmotnostního přírůstku u ptáků. Také zjistili, že při zvýšeném obsahu NSP dochází ke zvýšení viskozity tráveniny a tím ke snížení konverze krmiva a také NSP negativně korelují s hodnotami AME. Přesněji zvýšený obsah NSP může být zodpovědný za nízkou hodnotu AME u některých druhů pšenice.

Steenfeldt (2000) zkoumal účinek různých odrůd pšenice v krmivech pro brojlery. V pokusu použili 16 různých druhů pšenice. Pšenice byla namleta na sítu s oky o průměru 3 mm. Krmivo i voda byly nabízeny ad libitum. Obsah dusíkatých látek měl průměrnou hodnotu 12,0 %. Minimální hodnota NL byla 11,2 % a maximální 12,7 %. U škrobu byl průměrný obsah 67,68 %. Minimální hodnota škrobu vycházela 65,8 % a maximální 72,2 %.

Ve srovnání se Stennfeldtem výsledky našeho pozorování vycházely následovně. Průměrný obsah NL byl 16,25 %. Nejnižší obsah byl 14,90 % a nejvyšší 19,12 %. Celkově jsou hodnoty NL v námi zkoumaných 20 odrůdách pšenice poměrně vysoké. Průměrný obsah škrobu vyšel 67,22 %, což je velmi podobný výsledek jako ve studii Steenfeldt (2000). Nejnižší obsah

škrobu byl 56,03 % a nejvyšší 74,51 %. Tento vyšší rozptyl je pravděpodobně způsobený odrůdovou variabilitou.

Péron et al. (2005) zkoumali vliv velikosti částic pšenice na stravitelnost živinových složek potravy. U celé pšenice může vycházet nízký koeficient stravitelnosti, kvůli tvrdosti a odolnosti pšeničného zrna. Proto zkoumali vliv velikosti částic. Pšenice byla namleta na sítu s oky o průměru 6 mm a 2 mm. Pokus probíhal na 150 kuřecích brojlerech. Trávenina se opět získala z tenkého střeva. Určovala se stravitelnost sušiny, škrobu, bílkovin a lipidů, vylučování vody a hodnoty AMEn. Obsah škrobu se určil pomocí amyloglukosidasa-dimethylsulfoxidové metody. Ostatní živiny (bílkoviny, lipidy a hrubá energie) byly změřeny pomocí NIR. Z výsledků vyplývá že stravitelnost se lišila podle hrubého či jemného namletí. U hrubě namleté pšenice vycházela stravitelnost škrobu 85,4 % a u jemně namleté 92,5 %. Stravitelnost bílkovin byla u hrubě namleté pšenice 80 % a u jemně namleté 81,4 %. Korelace s hodnotou AMEn se podle výsledků nepotvrdila. Ačkoliv byla hodnota AMEn u pšenice vyšší, u jemně mletých a následně granulovaných částic nedošlo k téměř žádnému vlivu na přírůstek hmotnosti nebo příjem krmiva. Stravitelnost našich výsledků byla u NL trochu nižší, a to v průměru 67,88 %, ale průměrná stravitelnost škrobu byla 88,02 %, což se shoduje s jejich výsledky.

U našich vzorků a odrůd, které měly žitnou translokaci byl obsah NL menší než u odrůd, které žitnou translokaci nemají (16,17 % / 16,48 %) a stravitelnost NL byla také menší u odrůd s žitnou translokací než u těch bez translokací (64,28 % / 70,81 %). U škrobu byly rozdíly méně výrazné. Obsah škrobu u odrůd s translokací byl 68,22 % a u odrůd bez translokací byl 65,79 %. Stavitelnost se taky výrazně nelišila. S žitnou translokací byla stravitelnost o trochu větší než
u odrůd bez translokace (87,35 % / 86,92 %).

Jarní pšenice mají celkem vyšší obsah NL (18,09 %) v porovnání s ostatními odrůdami (16,25 %). Stavitelnost byla také vyšší než průměrná hodnota (76,6 % / 67,88 %). U odrůdy 1583 byl nejvyšší obsah NL z celé skupiny (19,12 %). Obsah škrobu je mírně nižší, něž průměrná hodnota (65,96 % / 67,22 %) a stravitelnost škrobu byla u jarních pšenicí větší než průměrná hodnota skupiny (89,97 % / 88,02 %).

Waxy pšenice mají celkem nízký obsah NL (15,55 %) a také jejich stravitelnost (57,34 %). Waxy pšenice mají z celé skupiny nejhorší stravitelnost NL (57,34 %). Z tohoto důvodu jsou méně vhodné jako komponent do krmných směsí pro brojlery. U škrobu jsou výsledku trochu lepší. Obsah škrobu u waxy pšenice je 70,59 % a průměrná stravitelnost vychází 87,33 %. Obě hodnoty jsou poblíž průměrných hodnota celé skupiny.

Komerční odrůdy pšenice mají nižší obsah NL, než je průměrná hodnota (15,67 % / 16,25 %). Naopak stravitelnost byla vyšší než průměrná hodnota stravitelnosti (71,70 % / 67,88 %). Obsah škrobu je podobný jako průměrná hodnota (66,6 % / 67,22 %), ale stravitelnost je zase o trochu vyšší než průměrná hodnota (89,42 % / 88,02 %). V porovnání s ostatními odrůdami nejsou výsledky nijak výjimečné.

Odrůda Tobak měla nižší obsah NL, ale stavitelnost byla vysoká (81,88 %). Z výsledků škrobu vyplývá, že odrůda Steffi měla menší obsah škrobu 62,77 %, ale stravitelnost byla velmi vysoká (93,78 %). Ostatní odrůdy Bonanza, Gordian a Tobak mají také vysokou stravitelnost škrobu (> 90 %). Jenom odrůda Vanessa měla velmi nízkou stravitelnost škrobu (80,42 %), přitom obsah škrobu byl srovnatelný s odrůdou Steffi.

Odrůda Steffi má pekařskou kvalitu A, což znamená, že se jedná o kvalitní pšenici. Odrůdy Gordian a Tobak mají pekařskou kvalitu B to je tzv. chlebová pšenice. Další dvě odrůdy Bonanza a Vanessa mají pekařskou kvalitu C, která je nevhodná. Správné zařazení pšenice do pekařské kvality je důležité pro správné využití jednotlivých odrůd.

Z výsledků NIR měření lze zjistit, že tato metoda je použitelná pro stanovování hrubého proteinu a škrobu.

U predikce stravitelnosti NL vycházel koeficient determinance lépe u krmiv než u trávenin (0,8527 / 0,8465). Pro predikci stravitelnosti NL je tedy lepší použít přímo krmiva. Oba koeficienty se ale výrazně neliší, predikce stravitelnosti je tedy možná u krmiv i trávenin. Ovšem čím větší bude hodnota R^2, tím větší bude úspěšnost korelace. Obě hodnoty koeficientů determinace poukazují na silnou závislost. Přesto, pro zjednodušení práce, by bylo možné měřit rovnou pšenici bez provádění bilančních pokusů.

U predikce stravitelnosti škrobu vycházel rozhodně lepší koeficient determinace pro tráveniny než pro krmiva (0,8632 / 0,6927). Pro predikci stravitelnosti škrobu je tedy lepší použít tráveniny. U koeficientu determinance pro tráveniny vychází silná závislost, zatímco u koeficientu determinance pro krmiva pouze střední závislost.

Pro přesnější výsledky by bylo potřeba změřit více hodnot. Dodavatel přístroje doporučuje, aby pro dostatečnou průkaznost výsledků bylo použito minimálně 30 vzorků. Při měření v této práci bylo k dispozici pouze 20 vzorků.

Dale et al. (2012) ve své studii zkoumali stravitelnost hrubého proteinu u pícnin. Pro zjištění stravitelnosti používali dva způsoby. Prvním byla Kjeldahlova metoda a druhým byla nedestruktivní metoda NIR. Přesnost a spolehlivost predikce obsahu hrubého proteinu s pomocí metody NIR je závislá na přesnosti a spolehlivosti stanovení obsahu hrubého proteinu klasickým způsobem (Kjeldahlova metoda). Ze zhodnocení jejich práce vyplývá, že výsledky

této studie ukazují, že hrubý protein a jeho stravitelnost lze předpovídat pomocí metody NIR. I porovnání výsledků klasické metody a NIR ukázalo nepatrné rozdíly.

Tabulka 10: Porovnávání výsledků obsahu hrubého proteinu podle Kjeldahlovy metody a metody NIR

Pícniny (různé louky)	Hrubý protein (%) Kjeldahl	Hrubý protein (%) NIR
Louka 1	15,22	13,56
Louka 2	14,49	13,26
Louka 3	14,56	13,60
Louka 4	14,61	13,30
Louka 5	15,46	14,35
Louka 6	11,19	11,12

Rosales et al. (2011) provedl studii, jejímž cílem bylo prozkoumat potenciál NIR metody, která je efektivnější a částečně nahradí dražší a časově náročnou „mokrou“ chemickou analýzu. Pro tuto studii bylo použito 276 vzorků kukuřice s cílem zjistit obsah bílkovin. Výpočet probíhal nejdříve podle Kjeldahlovy metody. Analýza pomocí NIR metody probíhala na modelu NIRS FOSS 6500. Z výsledků lze vyčíst, že například u pšenice jsou koncentrace AMK v silné korelaci s hrubým proteinem, což znamená, že mohou být odvozené ze známých referenčních hodnot.

Montanhini et al. (2017) provedli studii, která zkoumala použití NIR pro hodnocení krmných složek určených pro výživu brojlerů. Pokusu se zúčastnilo 1120 kuřecích brojlerů. Voda i krmivo bylo podáváno ad libitum. Výsledky analýzy NIR pro pšenici ukázaly, že u pšenice vycházela nižší AMEn ve srovnání s tabulkovými hodnotami (- 7,7 %). U hrubého proteinu pšenice vycházely hodnoty u NIR výrazně vyšší než v tabulkách (+ 31,3 %).

Mateos et al. (2018) popisuje, že tabulkové hodnoty jsou univerzální, ale ne vždy přesné. Proto se dnes používají jiné metody jako například NIR a tzv. prediktivní regresní rovnice. Tyto rovnice jsou založeny na analýzách NIR a jsou snadno implementovatelné, umožňují rychlou aktualizaci nutričních hodnot přísad a maximalizují využití laboratorních dat v procesu přípravy krmiva.

7 Závěr

Cílem práce bylo vytvoření databáze, která je, na základě srovnání s chemickými analýzami, schopna detekovat a zobrazovat hodnoty stravitelnosti hrubého proteinu a škrobu. Tato databáze vznikla pomocí NIR metody a vyhodnocovacího programu SpectraLUMPro.

Nejpřesnější se ukázala být databáze pro tráveniny a jejich stravitelnost škrobu. Všechny výpočty pomocí prediktivní regresní rovnice vycházely s minimálními rozdíly a žádná predikce nebyla špatná.

U databáze vytvořené pro krmiva a jejich stravitelnost škrobu, predikce nevycházela pouze u jediného vzorku, a to u odrůdy Tobak. Zde vycházela predikce pro NIR měření o 4,83 % méně než u chemického stanovení.

Databáze vytvořené pro stanovení stravitelnosti NL se také neobešly bez chybné predikce. U stravitelnosti trávenin byla predikce pro NIR u odrůdy Waxypen o 9,46 % vyšší než u laboratorního stanovení. U stravitelnosti krmiv nevyšla predikce u odrůd 139 a Tobak. Pro obě odrůdy vycházela nižší hodnota NIR (139 o 7,33 % nižší a Tobak o 8,37 % nižší).

Neúspěšná predikce se opakuje u odrůdy Tobak, přesněji u stravitelnosti NL i škrobu u krmiv. Přitom měla odrůda Tobak nejvyšší stravitelnost NL z celé skupiny chemicky analyzovaných vzorků (81,88 %), i když měla podprůměrný obsah NL. U odrůdy Waxypen byla naopak stravitelnost NL stanovená chemickou metodou nejnižší z celé skupiny (47,70 %).

Hypotéza, že pomocí metody NIR lze určovat stravitelnost hrubého proteinu a škrobu se potvrdila.

Z vypočtených koeficientů determinance pro stravitelnost NL vychází lepší výsledek pro krmiva (R^2= 0,8527). U trávenin vychází nepatrně menší (R^2=0,8465). Pro přesnější výsledky je tedy lepší použit prediktivní regresní rovnici přímo na vybraném krmivu (pšenici), ale použití predikce u trávenin se také nevylučuje. Výsledné koeficienty nejsou moc rozdílné.

U koeficientů determinance pro stravitelnost škrobu je rozhodně lepší používat prediktivní regresní rovnici pro stravitelnost u trávenin. Koeficient determinance je nejvyšší z celé skupiny (R^2=0,8632). U sestavené databáze vycházely všechny predikce přesně. Koeficient determinance vypočítaný pro stravitelnost škrobu u krmiv (pšenic) je nejnižší ze všech čtyř (R^2=0,6927). Používání predikce zde není příliš vhodné, i když by pro dodavatele, nebo výrobce krmiv bylo výhodnější.

8 Seznam literatury

Amerah AM. 2015. Interactions between wheat characteristics and feed enzyme supplementation in broiler diets. Animal feed science and technology **199**: 1-9.

Apajalahti J, Vienola K. 2016. Interaction between chicken intestinal microbiota and protein digestion. Animal feed science and technology **221**: 323-330.

Ball MEE, Owens B, McCracken KJ. 2013a. Chemical and physical predictors of the nutritive value of wheat in broiler diets. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences **26 (1)**:97-107.

Ball MEE, Owens B, McCracken KJ. 2013b. The effect of variety and growing conditions on the chemical composition and nutritive value of wheat for broilers. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences **26 (3)**: 378–385

Bonfim de Oliveira E, Gomes da Silveira Deminicis R, Ramalho de Lima M, Perazzo Costa FG, Sales do Nascimento D, Ribeiro TS. 2017. Impact of intestinal health at poultry. Open Access Journal of Science **1 (5)**: 1-2

Bostami ABMR, Islam MM, Ahmed ST, Mun HS, Hong SB, Yang CJ. 2015. Effect of beneficial microorganisms on growth performance, mortality and intestinal microflora in broilers. Global Journal of Microbiology Research **3 (2)**: 126-133.

Černý H. 2005. Anatomie domácích ptáků. Metoda spol. s. r. o, Brno.

Dale LM, Pierna JAF, Vermeulen P, Lecler B, Bogdan AD, Păcurar FS, Rotar I, Thewis A, Baeten V. 2012. Research on crude protein and digestibility of Arnica montana L. using conventional NIR spectrometry and hyperspectral imaging NIR. Journal of Food, Agriculture & Environment **10 (1)**: 391-396.

Gabriel I, Lessire M, Mallet S, Guillot JF. 2006. Microflora of the digestive tract: critical factors and consequences for poultry. World's Poultry Science Journal **62**: 499–511.

Gutiérrez del Álamo A, Pérez 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 fertilisation. British Poultry Science **50 (3)**: 341—349.

Han GG, Kim EB, Lee J, Lee J, Jin G, Park J, Huh Ch, Kwon I, Kil DY, Choi Y, Kong Ch. 2016. Relationship between the microbiota in different sections of the gastrointestinal tract, and the body weight of broiler chickens. SpringerPlus **5**: 1-9.

Hetland H, Svihus B, Olaisen V. 2002. Effect of feeding whole cereals on performance, starch digestibility and duodenal particle size distribution in broiler chickens. British Poultry Science **43 (3)**: 416-423.

Ibáñez LSM, Aloman D. 2008. Prediction of the chemical composition and fermentation parameters of pasture silage by near infrared reflectance spectroscopy (NIR). Chilean journal of agricultural research **68(4)**: 352-359.

Jelínek P, et al. 2003. Fyziologie hospodářských zvířat. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

Kacerovský O, Babička L, Biro D, Heger J, Jedlička Z, Lohninský J, Mudřík Z, Roubal P, Svobodová M, Vencl B, Vrátný P, Zelenka J. 1990. Zkoušení a posuzování krmiv. Státní zemědělské nakladatelství Praha, Praha.

Klouda P. 2003. Moderní analytické metody. Nakladatelství Pavel Klouda, Praha.

Lemme A, Ravindran V, Bryden WL. 2004. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. World's Poultry Science Journal **60:** 423-437.

Maisonnier S, Gomez J, Chagneau AM, Carré B. 2010. Analysis of variability in nutrient digestibilities in broiler chickens. British Poultry Science **42 (1)**: 70-76.

Marvan F, Hampl A, Hložánková E, Kresan J, Massanyi L, Vernerová E. 1992. Morfologie hospodářských zvířat. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Mateos GG, Cámara L, Fondevila G, Lázaro RP. 2018. Critical review of the procedures used for estimation of the energy content of diets and ingredients in poultry. Poultry Science Association Inc **0**: 1-20.

Míka V, Kohoutek A, Nerušil P. 2008. Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIR): Výběr praktických aplikací v zemědělství. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha.

Montanhini RN, N´Guetta E, Gady C, Francesch M, Preynat A. 2017. Combined effect of using near-infrared spectroscopy for nutritional evaluation of feed ingredients and non-starch polysaccharide carbohydrase complex on performance of broiler chickens. Animal Science Journal DOI: 10.1111/asj.12822

National academies press. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Oakley BB, Lillehoj HS, Kogut MH, Kim WK, Maurer JJ, Pedroso A, Lee MD, Collett SR, Johnson TJ, Cox NA. 2014. The chicken gastrointestinal microbiome. Federation of European Microbiological Societies **360**: 100-112.

Papoušková L. 2012. Studium variability vlastností škrobu a bílkovin zrna pšenice seté v současných kolekcích Genové banky [disertační práce]. Česká zemědělská univerzita v Praze ČZU, Praha.

Péron A, Bastianelli D, Oury F.-X, Gomez J, Carre B. 2005. Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed on a pelleted diet. British Poultry Science **46 (2)**: 223–230.

Reece WO. 2010. Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat. Grada publishing, Praha.

Rosales A, Galicia L, Oviedo E, Islas C, Palacios- Rojas N. 2011. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIR) for protein, tryptophan, and lysine evaluation in quality protein maize (QPM) Breeding Programs. Journal of Agricultural and Food Chemistry **59 (20)**: 10781–10786.

Steenfeldt S. 2001. The dietary effect of different wheat cultivars for broiler chickens. British Poultry Science **42 (5)**: 595-609.

Stevens CE, Hume ID. 1995. Comparative physiology of the vertebrate digestive system. Cambridge University Press, Cambridge, New York.

Svihus B, Gullord M. 2002. Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. Animal Feed Science and Technology **112**: 71-92.

Svihus B, Hetland H. 2001. Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed on a wheat-based diet is improved by mash feeding, dilution with cellulose or whole wheat inclusion. British Poultry Science **42**: 633–637.

Towett EK, Alex M, Shepherd KD, Polreich S, Aynekulu E, Maass BL. 2013. Applicability of near-infrared reflectance spectroscopy (NIR) for determination of crude protein content in cowpea (Vigna unguiculata) leaves. Food Science & Nutrition **1 (1)**: 45-53.

Undersander D. 2006. Uses and abuses of NIR for feed analysis. Florida Ruminant Nutrition Symposium **2 (1-2)**: 95-101.

Wiseman J, Nicol NT, Norton G. 2000. Relationship between apparent metabolisable (AME) values and in vivo/in vitro starch digestibility of wheat for broilers. World's Poultry Science Journal **56**: 305-318.

Wiseman J. 2006. Variations in starch digestibility in non-ruminants. Animal Feed Science and Technology **130**: 66–77.

WPSA (World´s poultry science association). 1989. European table of energy values for poultry feedstuffs. Beekbergen: WPSA Subcommittee Energy of the Working Group nr. 2 Nutrition of the European Federation.

Zaefarian F, Abdollahi MR, Ravindran V. 2016. Particle size and feed form in broiler diets: impact on gastrointestinal tract development and gut health. World's Poultry Science Journal **72**:277–290.

Zelenka J, Heger J, Zeman L. 2007. Doporučený obsah živin v krmných směsích a výživná hodnota krmiv pro drůbež. Ministerstvo zemědělství, Praha.

Zelenka J, Zeman L. 2006. Výživa a krmení drůbeže. Agriprint, Olomouc.

Internetové zdroje:

BOR s.r.o. 2019. Gordian B. Bor s.r.o., Choceň. Available from http://www.bor-sro.cz/osiva/psenice-ozima/gordian-b

Dvořáčková J. 2011. Hodnocení výživné hodnoty krmiv. Mendelova univerzita v Brně: Ústav výživy zvířat a pícninářství, Brno. Available from http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/cvicebnice/energie.php

Hošková Š. Rok neznámý. Rozdělení energie. Mendelova univerzita v Brně: Ústav výživy zvířat a pícninářství, Agronomická fakulta, Brno. Available from https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-energeticky_pavouk.pdf

OSEVA: Agro Brno spol. s.r.o. 2019. Steffi. Agro Brno, Brno. Available from http://www.oseva-agro.cz/index.php/obiloviny/obiloviny-ozime/psenice-ozima

Příhoda J, Skřivan P, Hrušková M. 2014. Od obilky k mouce aneb jak vzniká mouka v českých mlýnech. Vlaštovička, Olomouc. Available from http://www.vlastovicka.cz/cz/pekarina/detail/od-obilky-k-mouce-aneb-jak-vznika-mouka-v-ceskych-mlynech/365 (accessed January 2014)

SAATEN-UNION CZ s.r.o. 2015. Tobak B. Saaten-union, Šaratice. Available from www.saaten.union.cz/tobak (accessed July 2015)

SAATEN-UNION CZ s.r.o. 2017. Bonanza krm. Saaten-union, Šaratice. Available from www.saaten-union.cz/bonanza (accessed June 2017)

Tichá M, Vyzínová P. 2016. Polní plodiny – Field crops. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Brno. Available from https://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/obsah.htm (accessed December 2016).

ZNZ Přeštice a.s. 2014. Katalog ozimých plodin 2014: Vanessa. ZNZ Přeštice, Přeštice. Available from http://www.znz.cz/download/296-vp-agro-katalog-ozimu-ceska-osiva-14-vpagro.pdf

Legislativní dokumenty:

Komise evropských společenství. 2009. Nařízení komise (ES) č. 152/2009 Sb. ze dne 27. ledna 2009, kterým se stanoví metody odběru vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv. 54/1-54-130 in Úřední věstník Evropské unie, EU.

9 Seznam použitých zkratek

BE – Brutto energie

SE – Stravitelná energie

NE – Netto energie

ME – Metabolizovatelná energie

AME – Bilančně metabolizovatelné energie

MEn – Metabolizovatelná energie opravená na dusíkovou rovnováhu

AMEn – Bilančně metabolizovatelná energie opravená na dusíkovou rovnováhu

AMK – Aminokyselina

CP – Hrubý protein

NL – Dusíkaté látky

SNL – Stavitelné dusíkaté látky

GIT – Gastrointestinální trakt

TMK – Těkavé mastné kyseliny

NSP – Neškrobové polysacharidy

NIR – Blízké infračervené spektroskopie

IR – Infračerveného záření

10 Seznam příloh

Tabulky:

Tabulka 1: Přehled NL, stravitelnosti NL, přítomnost žitných translokací a označení pekařské kvality 32
Tabulka 2: Obsah škrobu v krmivech, tráveninách a stravitelnost škrobu (%) 34
Tabulka 3: Základní popisné statistiky stravitelnosti NL 37
Tabulka 4: Základní popisné statistiky stravitelnosti škrobu.....38
Tabulka 5: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u pšenic a jejich stravitelnosti NL.....41
Tabulka 6: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u trávenin a jejich stravitelnosti NL.....44
Tabulka 7: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u stravitelnosti škrobu pšenice 47
Tabulka 8: Porovnání laboratorních výsledků a výsledků získaných pomocí prediktivní regresní rovnice u trávenin a jejich stravitelnosti škrobu 50
Tabulka 9: Změny složení škrobu a CP při aplikování N – hnojiv.....52
Tabulka 10: Porovnávání výsledků obsahu hrubého proteinu podle Kjeldahlovy metody a metody NIR.....56

Grafy:

Graf číslo 1: Obsah NL a stravitelnost NL (%) 33
Graf číslo 2: Porovnání množství škrobu v krmivech a tráveninách 35
Graf číslo 3: Porovnání škrobu v krmivech a tráveninách s konečnou stravitelností škrobu ...36
Graf číslo 4: Zobrazení stravitelnosti škrobu (sestupně) 36
Graf číslo 5: Transmitance vlnových délek u pšenic k vyhodnocení stravitelnosti NL 39
Graf číslo 6: Grafické znázornění koeficientu determinance pro pšenice a jejich stravitelnost NL 40
Graf číslo 7: Transmitance vlnových délek u trávenin k vyhodnocení stravitelnosti NL 42
Graf číslo 8: Grafické znázornění koeficientu determinance pro tráveniny a jejich stravitelnost NL 43
Graf číslo 9: Transmitance vlnových délek u pšenic k vyhodnocení stravitelnosti škrobu.....45

Graf číslo 10: Grafické znázornění koeficientu determinance pro stravitelnost škrobu pšenice 46
Graf číslo 11: Transmitance vlnových délek u trávenin k vyhodnocení stravitelnosti škrobu.48
Graf číslo 12: Grafické znázornění koeficientu determinance pro tráveniny a jejich stravitelnost škrobu.....49

Obrázky:

Obrázek 1: Stručný popis částí trávicí soustavy s hodnotami pH (Gabriel 2006).....7
Obrázek 2: Obalové vrstvy pšenice (http://www.vlastovicka.cz/cz/pekarina/).....14
Obrázek 3 Přirozená změna poměru MEn a dusíkatých látek (Zelenka & Zeman 2006). 18