

# Tvorba databáze NIR spekter vybraných masných výrobků

Bc. Lucie Režná

---

Diplomová práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Lucie Režná  
Osobní číslo: T18388  
Studijní program: N2901 Chemie a technologie potravin  
Studijní obor: Technologie potravin  
Forma studia: Kombinovaná  
Téma práce: Tvorba databáze NIR spekter vybraných masných výrobků

### Zásady pro vypracování

#### I. Teoretická část

1. Princip NIR spektroskopie
2. Popis vybraných masných výrobků
3. Využití spektroskopie v potravinářství
4. Přístrojové vybavení pro NIR spektroskopii
5. Princip tvorby kalibračních modelů

#### II. Praktická část

1. Provedení základního chemického rozboru produktu
2. Změření vzorků NIR spektroskopii
3. Vytvoření kalibračních modelů základních složek výrobku
4. Vyhodnocení výsledků

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] PRIETO, N. ET AL. (2009). Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review, *Meat Science* 83, p. 175-186.
- [2] HAIBO, H. ET AL. (2008). Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review, *Journal of Food Engineering* 87, p. 303-313.
- [3] POREP J. U., KAMMERER, D. R., REINHOLD C. (2015): On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production, *Trends in Food Science Technology* 46, p. 211-230.
- [4] KLOUDA, P. (2003). *Moderní analytické metody*, Ostrava: Nakladatelství Pavel Klouda, 132 stran, ISBN 80-86369-07-2.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Šenkýřová, Ph.D.**  
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **17. února 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo –diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá historií a zejména principem infračervené spektroskopie, dále popisem tepelně opracovaných masných výrobků, legislativními požadavky pro tuto komoditu a technologií výroby těchto výrobků. V neposlední řadě je v teoretické části popsáno využití NIR spektroskopie v potravinářském průmyslu. Cílem praktické části této práce byla tvorba databáze NIR spekter vybraných vzorků párků, které byly následně analyzovány. Na základě metody infračervené spektroskopie v blízké oblasti spektra byly sestaveny kalibrační modely pro stanovení sledovaných parametrů ve vzorcích – obsah tuku, bílkovin a sušiny. U daných modelů byla prověřena jejich spolehlivost podle hodnot koeficientu determinace. Získané kalibrační modely vykazují relativně vysokou spolehlivost s hodnotami determinačního koeficientu v rozmezí 0,9139 – 0,9931. V závěrečné části byla soustředěna pozornost na využití NIR spektroskopie pro stanovení jednotlivých parametrů.

**Klíčová slova:** masné výrobky, párky, infračervená spektroskopie, kalibrační modely, obsah tuku, obsah bílkovin, obsah sušiny

## **ABSTRACT**

The theoretical part of this master thesis lays historical background to the principles of infrared spectroscopy, describes heat-treated meat products and invites the reader to learn more about the legal framework behind it, core technologies used in the manufacturing processes as well as utilization of NIR spectroscopy in the food industry. The objective of the practical part was to create a NIR spectral database out of selected range of heat-treated products - sausages. Near-infrared spectroscopy was chosen as a leading method to analyse samples, to create calibration models and to determine respective data points to analyse fat content, proteins, dry matter. Coefficient of determination was used to assess levels of reliability. As the observed calibration models result in values ranging from 0,9139 to 0,9931 it is safe to say that strong reliability was achieved. To conclude the analysis, focus was given to explore possibilities of determining respective parameters of NIR spectroscopy.

**Keywords:** meat products, sausages, infrared spectroscopy, calibration models, fat content, protein content, dry matter content

Na tomto místě bych velmi ráda poděkovala své vedoucí bakalářské práce Ing. Janě Šenkýřové, Ph.D. za odborný přístup, cenné rady, vstřícnost a čas, který mi věnovala při tvorbě mé diplomové práce.

Dále děkuji zejména svému příteli za trpělivost a podporu, která mi byla během studia věnována.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 NIR SPEKTROSKOPIE</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE .....	11
1.2 PRINCIP NIR SPEKTROSKOPIE.....	12
1.2.1 Infračervené záření.....	12
1.2.2 Spektrum .....	15
1.3 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ A TVORBA KALIBRAČNÍCH MODELŮ .....	17
<b>2 POPIS VYBRANÝCH MASNÝCH VÝROBKŮ</b> .....	<b>21</b>
2.1 SUROVINY NA VÝROBU TEPELNĚ OPRACOVANÝCH MASNÝCH VÝROBKŮ .....	23
2.1.1 Maso získané z jatečných zvířat.....	23
2.1.2 Pitná voda.....	23
2.1.3 Sůl a solící směsi .....	24
2.1.4 Bílkovinné přísady .....	25
2.1.5 Sacharidické přísady .....	25
2.1.6 Koření a ochucující látky .....	26
2.1.7 Obalové materiály .....	26
2.2 TECHNOLOGIE VÝROBY TOMV .....	26
2.2.1 Mělnění, míchání.....	28
2.2.2 Solení.....	28
2.2.3 Plnění, narážení do obalů .....	29
2.2.4 Uzení .....	29
2.2.5 Tepelné opracování .....	30
2.2.6 Chlazení.....	30
2.2.7 Balení a expedice .....	31
<b>3 VYUŽITÍ NIR SPEKTROSKOPIE V POTRAVINÁŘSTVÍ</b> .....	<b>32</b>
3.1 VYUŽITÍ NIR SPEKTROMETRIE V MASNÉM PRŮMYSLU .....	33
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>36</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>37</b>
<b>5 MATERIÁLY A METODIKA</b> .....	<b>38</b>
5.1 VZORKY A CHEMIKÁLIE.....	38
POUŽITÉ CHEMIKÁLIE: .....	38
5.2 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ .....	39
5.3 REFERENČNÍ STANOVENÍ .....	41
5.3.1 Stanovení obsahu tuku .....	41
5.3.2 Stanovení obsahu bílkovin .....	41
5.3.3 Stanovení obsahu celkové sušiny.....	42
5.4 MĚŘENÍ INFRAČERVENÝCH SPEKTER .....	43

5.5	TVORBA KALIBRAČNÍCH MODELŮ A STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ .....	44
5.5.1	Statistické vyhodnocení získaných výsledků .....	46
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>49</b>
6.1	REFERENČNÍ STANOVENÍ.....	49
6.2	KALIBRAČNÍ MODELY S INTEGRAČNÍM ČASEM 7 X 12,5 MS .....	50
6.2.1	Kalibrační model obsahu tuku při IT 7 x 12,5 ms.....	51
6.2.2	Kalibrační model obsahu bílkovin při IT 7 x 12,5 ms .....	52
6.2.3	Kalibrační model obsahu sušiny při IT 7 x 12,5 ms .....	53
6.3	KALIBRAČNÍ MODELY S INTEGRAČNÍM ČASEM 8 X 12,5 MS .....	55
6.3.1	Kalibrační model obsahu tuku při IT 8 x 12,5 ms.....	55
6.3.2	Kalibrační model obsahu bílkovin při IT 8 x 12,5 ms .....	57
6.3.3	Kalibrační model obsahu sušiny při IT 8 x 12,5 ms .....	59
6.4	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ KALIBRACÍ PŘI ROZDÍLNÉM INTEGRAČNÍM ČASE .....	60
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>81</b>



## ÚVOD

Infračervená spektroskopie vděčí za svůj objev anglickému astronomovi Fredericku Williamu Herschelovi, který při svých pokusech objevil novou oblast spektra hranolem rozloženého slunečního záření. Po dlouhou dobu nenacházela spektroskopie v blízké červené oblasti, neboli NIR, své uplatnění. Zlom nastal přibližně od 50. let 20. století, kdy započalo zdokonalování přístrojového vybavení, zejména počátek využívání infračervených spektrometrů s Fourierovou transformací (FT-IR). Princip samotného měření spočívá ve studiu interakcí mezi elektromagnetickým zářením a analyzovanou látkou.

Pro své nedestruktivní vlastnosti našla infračervená spektroskopie uplatnění jak při kvalitativních, tak při kvantitativních analýzách v oblasti potravin. Její využití je však značně široké, a to například v oblasti farmacie či zemědělství. Při analýze potravin lze po sestavení kalibrační křivky na základě NIR spekter stanovit množství analyzované látky.

Na možnosti využití NIR spektroskopie v masném průmyslu, byla již provedena celá řada výzkumných prací. Studie se zabývaly například stanovením nejen množství tuku ve vzorku, ale také složení mastných kyselin. Ovšem tato metoda nebývá využívána pouze k určení chemického složení masa a masných výrobků jako takového, ale lze její pomocí hodnotit také křehkost masa, jeho čerstvost nebo provádět tzv. kategorizaci.

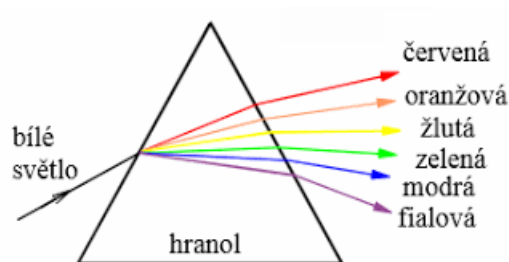
Diplomová práce byla zaměřena na využití NIR spektrometrie ke stanovení základních parametrů, jako je obsah tuku, bílkovin a sušiny, a to ve vzorcích párků zakoupených v tržní síti. Na základě získaných hodnot za pomoci infračervené spektroskopie v blízké oblasti, spolu s hodnotami získanými referenčním stanovením, byly sestaveny kalibrační modely pro jednotlivé parametry, na které lze dále nahlížet s možností jejich rozšíření a tak dále.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 NIR SPEKTROSKOPIE

## 1.1 Historie

Rozklad světla byl popsán již v roce 1648, avšak až do roku 1800 nebyla známa existence forem světla, které jsou neviditelné – tudíž za hranicí viditelného spektra. Za objev elektromagnetického spektra, které se nachází za červenou složkou světla, zodpovídá anglický astronom Frederick William Herschel. Při svých pokusech, kdy zkoumal rozklad slunečního záření na spektrum pomocí hranolu, se mu podařilo naměřit nejvyšší teplotu za červenou složkou spektra, a tak objevit novou oblast, která byla následně pojmenována infračervená oblast. [1, 2, 3]



Obrázek 1. Frederick William Herschel (vlevo) [4], rozklad světla na spektrum (vpravo) [5]

Dlouhou dobu byla NIR spektroskopie (near infrared spektroskopie) považována za nedůležitou, a to z důvodu komplikované interpretace. Studie v oblasti NIR se začaly rozvíjet až v roce 1938, kdy byl pomocí této metody stanovován obsah vody v želatině nebo například složení pohonných hmot. Avšak větší zájem o tuto metodu započalo v 50. letech 20. století zjištění, že za téměř všechny absorpční pásy zkoumané oblasti jsou odpovědné vodíkové vibrace. Na základě této skutečnosti se začaly postupně rozvíjet metody pro stanovování obsahu vody, a to v široké škále materiálů. Do roku 1970 byly používány spektroskopy obsahující mřížku nebo hranol jako monochromátor, avšak velký zlom způsobilo používání infračervených spektrometrů s Fourierovou transformací (FT-IR). Jejich užívání začalo být běžné zejména po zakomponování interferometru Michelsonova typu, jenž byl zkonstruován Albertem Abrahamem Michelsonem v roce 1881. [1, 3, 6].

V analýze potravin je infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací využívána ke kvalitativnímu tak kvantitativnímu hodnocení. Od 60. let 20. století se NIR spektroskopie využívá zejména v potravinářství, zemědělství ale také například ve farmacii a medicíně. Využití NIR spektroskopie bylo podmíněno zejména vývojem výpočetní techniky, díky které je možno vyhodnotit získávaná spektra s ohledem na fyzikální, analytické a chemické vlastnosti analyzovaných vzorků. [6, 7]

## 1.2 Princip NIR spektroskopie

Hlavní podstatou spektroskopie je studium interakce elektromagnetického záření s analyzovanou látkou, kdy daná látka může se zářením interagovat nebo jej emitovat, přičemž jsou pozorované jevy následně využity k identifikaci látek, potvrzení jejich přítomnosti ve vzorku, určení jejich koncentrace. Touto analytickou nedestruktivní metodou lze tedy provádět jak kvalitativní, tak kvantitativní analýzu. [8]

Při samotném měření lze očekávat dvě situace, podle kterých rozlišujeme absorpční infračervenou (IR) spektroskopii a emisní IR spektroskopii. V případě absorpční IR spektroskopie je foton zkoumanou látkou pohlcen, daná látka zvyšuje svou vnitřní energii a molekuly, ionty či atomy jsou schopny absorbovat záření frekvencí odpovídající přechodům energetických stavů. Tyto frekvence jsou typické pro měřenou látku a vypovídají tak o její struktuře. Naopak u emisní IR spektroskopie je záření danou látkou emitované a vnitřní energie dané látky se snižuje. [9, 10, 11]

Část elektromagnetického záření je pohlcena dvouatomovými vazbami, jako jsou například S–H, N–H, O–H či C–H a které jsou označovány jako absorbéry. Tyto vazby jsou typické pro určité skupiny látek, mezi které patří sacharidy, bílkoviny a tuky. Změna rotačně-vibračních potenciálů u těchto dvouatomových vazeb způsobuje absorpci světla. [12]

### 1.2.1 Infračervené záření

Infračervené záření je popisováno jako elektromagnetické záření, jehož vlnové délky jsou v rozsahu 0,78 – 1000  $\mu\text{m}$  a navazuje z jedné strany na mikrovlnné záření a z druhé strany na záření viditelné. Těmto vlnovým délkám odpovídá oblast vlnočtů 12800 – 10  $\text{cm}^{-1}$ . V IR spektroskopii se místo vlnových délek užívá hodnot vlnočtů, což jsou převrácené hodnoty vlnových délek. [9]

Oblast infračerveného spektra je možno rozdělit na tři části podle vlnových délek. První z nich je blízká oblast (NIR), která se pohybuje v rozmezí vlnových délek 780 nm – 2,5  $\mu\text{m}$

tj.  $12\,800 - 4000\text{ cm}^{-1}$ , další z oblastí je střední oblast (MIR) s rozmezím vlnových délek  $2,5 - 50\ \mu\text{m}$  tj.  $4000 - 200\text{ cm}^{-1}$  a poslední oblastí je vzdálená oblast (FIR), která leží v rozmezí vlnových délek  $50 - 1000\ \mu\text{m}$  tj.  $200 - 10\text{ cm}^{-1}$ . [9, 13]

Infračervené záření, přesněji energie jeho fotonů, je schopno vyvolat změnu rotačních stavů molekul, a tudíž vytvořit rotační absorpční spektrum. K tomuto ději dochází již při působení nízké energie záření v rozmezí hodnot  $1 - 300\text{ cm}^{-1}$  (záření vzdálené IR oblasti). Při větší energii záření ( $300 - 4000\text{ cm}^{-1}$ , záření blízké a střední IR oblasti) dochází ke změně nejen rotačního potenciálu molekul, ale také vibračního potenciálu molekul. Vzniklé spektrum je označováno jako vibračně-rotační infračervené spektrum. Vibrační pohyb si lze představit jako kmitání atomů podél spojnice jader, kdežto rotační pohyb umožňuje otáčení atomů kolem osy, která prochází těžištěm molekuly kolmo na spojnici. [13, 14, 15]

Vibrační přechody se liší u dvouatomových a víceatomových molekul. K popisu vibračních přechodů u dvouatomových molekul se užívají vztahy, které jsou platné pro harmonický oscilátor. Hladina vibrační energie ( $E_v$ ) v závislosti na vibračním kvantovém čísle je dána vztahem:

$$E_v = h \cdot \nu \left( n + \frac{1}{2} \right) [\text{J}] \quad (1.1)$$

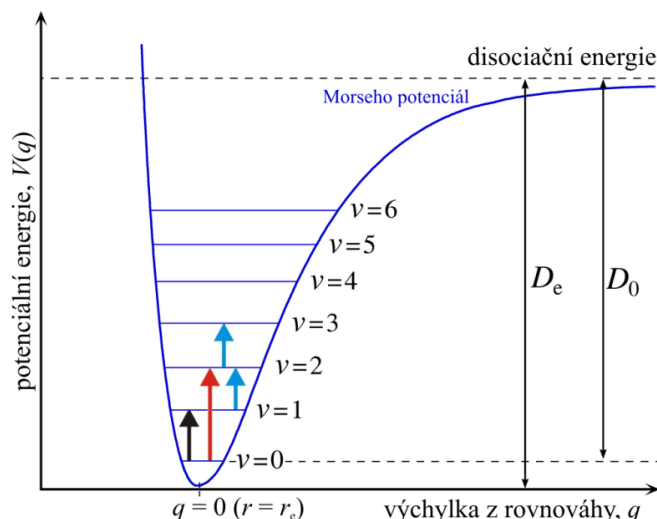
Kde:

$h$  – Planckova konstanta –  $6,626 \cdot 10^{31}\text{ [J}\cdot\text{s]}$

$\nu$  – frekvence vibrující molekuly [Hz]

$n$  – vibrační kvantové číslo (0, 1, 2,...)

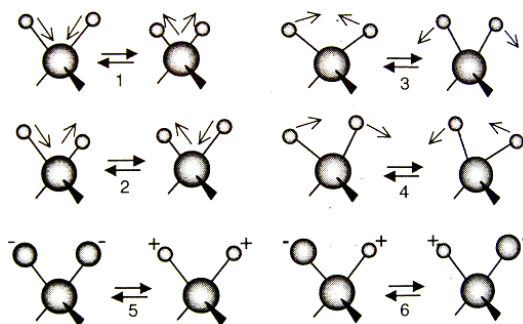
Reálně se většina dvouatomových molekul chová spíše jako oscilátor anharmonický, kdy harmonický oscilátor představuje pohyb molekul pouze přibližně. [9, 16]



Obrázek 2. Energetické hladiny a vibrační přechody anharmonického oscilátoru [13]

Většina molekul je za běžných podmínek a normální teploty ve fundamentálním stavu. Vibrační přechody jsou zpravidla uskutečňovány mezi dvěma sousedními hladinami, kdy za předpokladu dodání energie, která odpovídá právě rozdílu energií dvou vibračních hladin, dochází k vibračnímu přechodu. Na obrázku č. 2 jsou znázorněny různé typy přechodů pro anharmonický oscilátor: černá – fundamentální neboli základní přechod, modrá – horký přechod kdy dochází k přechodu mezi dvěma excitovanými stavy a červená – svrchní přechod neboli změna vibračního kvantového čísla o více než jedna. [14]

Narozdíl od dvouatomových molekul je u víceatomových molekul používána pro popis vibračních přechodů buďto teorie lokálních módů nebo součty pohybů stabilních molekul při nižších vibračních stavech tzv. normální vibrace. Vibrací se mohou u víceatomových molekul měnit jak vazebné úhly (deformační vibrace), tak délky vazeb (valenční vibrace). Ke změně vazebného úhlu dochází již při nižší frekvenci než při změně délky vazby, jelikož k tomu je zapotřebí větší množství energie. [17, 18]



Obrázek 3. Valenční a deformační vibrace skupiny  $\text{CH}_2$  [9]

Na obrázku č. 3, který je uveden výše, jsou znázorněny jak rovinné vibrace (1 – 4) tak mimorovinné vibrace (5, 6). U rovinných vibrací můžeme pozorovat vibraci valenční symetrickou (1), valenční asymetrickou (2), deformační nůžkovou (3) a deformační kolébavou (4). Z mimorovinných jsou to vibrace deformační kývavé (5) a deformační kroutivé (6). [9]

Podmínkou pro absorpci elektromagnetického záření je změna dipólového momentu molekuly během vibrace. Tím se také může navýšit vnitřní energie molekuly. Změna dipólového momentu je v přímé úměře s intenzitou infračervených pásů. Z výše uvedeného vyplývá, že symetrické dvouatomové molekuly infračervené záření neobsahují, jelikož mají nulový dipólový moment ve všech vibračních stavech. [19]

K rotačním přechodům molekul dochází pouze u látek plynného skupenství, kdy je zde mnohem menší rozdíl energií mezi jednotlivými hladinami než u přechodů vibračních, které jsou popsány výše. Stejně jako u vibračních přechodů tak i zde dochází k absorpci elektromagnetického záření pouze za změny dipólového momentu. U rotačních přechodů je povolen přechod, kdy se mění kvantové rotační číslo o  $\pm 1$ . Při absorpci NIR a také MIR záření molekulou, dochází ke změně jak vibračního, tak rotačního stavu a dochází tak ke tvorbě tzv. vibračně-rotačních přechodů. [14]

### 1.2.2 Spektrum

Spektrém je míněna jakákoliv funkční závislost dvou veličin, přičemž jedna z nich má rozměr energie. Spektrum pokrývá záření s různou vlnovou délkou a je rozdělené na oblasti s jasně definovanými hranicemi. Záznam, který označujeme spektrem látky, je vlastně závislost vlnové délky záření, které prostoupilo analyzovanou látkou, na jeho intenzitě. [13, 20,21]

Rozdělené pásy spektra, které jsou z pohledu analýzy nejvýznamnější, vznikají vibracemi vazeb molekul, které obsahují funkční skupiny jako např. –OH (voda, alkohol), –CH (sacharidy, tuky, oleje), –SH či –NH (bílkoviny). Každý pás odpovídá danému typu vibračního přechodu. V infračerveném spektru jsou rozlišovány dvě různé oblasti, a to: [22, 23]

- a)  $400 - 1500 \text{ cm}^{-1}$  neboli oblast otisku prstů
- b)  $1600 - 4000 \text{ cm}^{-1}$  neboli oblast skupinových vibrací

K identifikaci funkčních skupin vyskytujících se v molekule je využívána oblast skupinových vibrací, kdy na danou funkční skupinu je určitá vibrace omezena, a tudíž není tato funkční skupina ovlivňována zbylou částí molekuly. Ve spektru poté lze pozorovat absorpční pásy typické pro konkrétní funkční skupinu. Kdežto v oblasti otisku prstů se nachází deformační vibrace ovlivněné strukturou molekuly. Jedná se o delokalizované vibrace, jejichž absorpční pásy nejsme schopni přiřadit ke konkrétním funkčním skupinám či vazbám. Tyto vibrace jsou projevem celé molekuly a je tak možné identifikovat konkrétní organickou látku. Stanovenou neznámou látku lze následně identifikovat pomocí spektrálních knihoven. [22, 24]

Při analýze hlavních složek a parametrů potravin patří metoda NIR mezi jednu z prvních možností při volbě analytické metody, a to z důvodu, že jsme schopni identifikovat a také kvantifikovat vzorek na základě jeho molekulového otisku. Mezi hlavní stanovované parametry a složky patří například vlhkost, obsah bílkovin, aminokyselin, tuku, škrobu atd. Získaná spektra je nutno nejdříve předupravit před tvorbou samotných kalibračních modelů. Jeden ze způsobů úpravy spektra je derivace, avšak ještě častěji je využívána druhá derivace ( $d^2A / d^2\lambda$ ). Druhá derivace způsobí separaci původního pásu, který je poté zřetelnější a směřující dolů. [25]

Spektra v NIR oblasti u vzorků potravin jsou obvykle široké pásy vzniklé překrytím spoustou slabých pásů. U vzorků bohatých na obsah vody je pozorován absorpční pás v rozsahu vlnových délek 1400 – 1410 nm. Do těchto potravin patří například ovoce, mléko, maso. Obsah vody v těchto surovinách se pohybuje v rozmezí 70 – 90 %. Ve spektru čisté vody pozorujeme při teplotě 20 °C pět absorpčních pásů, které mají svá maxima při vlnových délkách 760, 970, 1190, 1450 a 1940 nm. Dále lze uvést příklad absorpčních pásů pro vazby C-H, které vznikají při vlnových délkách 1730, 2350 a 2310 nm. Absorpční pásy typické pro bílkoviny ve spektru vajec se objevují při vlnových délkách 2060 a 2180 nm. U spekter sacharidů lze pozorovat značnou podobnost, a to z důvodu přítomných O-H a C-H vazeb ve všech sacharidech. Při analýze sacharidů NIR spektroskopii se stanovují zejména jednotlivé sacharidy a jejich množství, a to například v ovocných šťávách. Dále lze stanovit obsah laktózy v sušeném mléce nebo sacharózu v čokoládě, víně nebo pekařských výrobcích. [26, 27, 28, 29]



Tabulka 1. Charakteristické vlnočty pro vybrané vazby [24]

Vazba	Výskyt	Vlnočet / $\text{cm}^{-1}$
C - O	Alkoholy, estery	1000 - 1300
C = O	Aldehydy, ketony, karboxylové kyseliny, estery	1680 - 1750
O - H	Vodíková vazba v karboxylové kyselině	2500 - 3300
N - H	Primární aminy	3100 - 3500
O - H	Vodíková vazba v alkoholech a fenolech	3230 - 3550
O - H	Volný	3580 - 3670

### 1.3 Přístrojové vybavení a tvorba kalibračních modelů

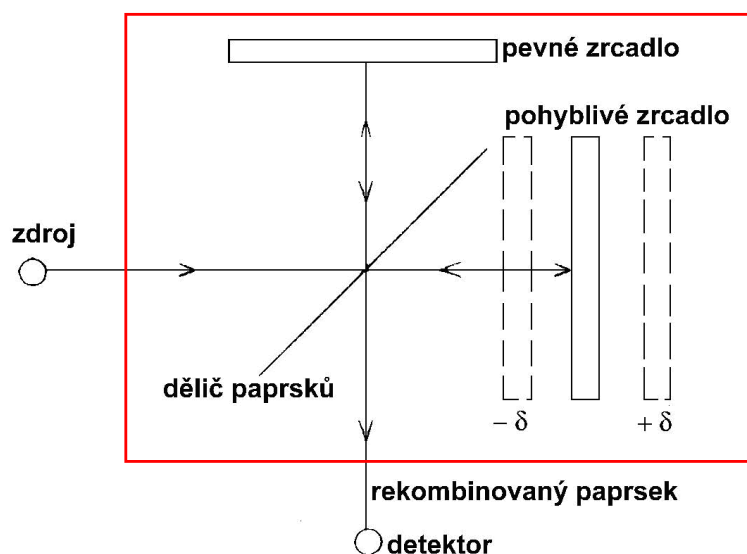
Infračervené spektroskopy lze v dnešní době na základě jejich konstrukce a principů výběru vlnových délek rozdělit na čtyři typy. Prvním z nich je nyní nejvíce používaný infračervený spektrometr s Fourierovou transformací. Dále rozlišujeme disperzní infračervené spektrometry, infračervené spektrometry s LED zdrojem a jako poslední infračervené spektrometry, které jsou založené na filtrech. [5]

#### 1.3.1 Spektroskopy s Fourierovou transformací

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, u tohoto typu spektrometru byl monochromátor nahrazen interferometrem Michelsonova typu. K převedení interferometricky získaného signálu na konečné infračervené spektrum se děje pomocí Fourierovy transformace. Z hlediska měření se tedy jedná o interferometrii, jelikož výsledkem měření je interferogram, nikoli spektrum. Michelsonův interferometr způsobuje zeslabování, respektive zesilování záření. Je složen ze dvou na sebe kolmých zrcadel, z nichž jedno je fixní a druhé pohyblivé, mezi které je umístěn polopropustný dělič paprsků. Zdrojem emitujícím spojitě infračervené záření v tomto případě může být například keramická tyčinka z karbidu křemíku, halogenová žárovka či žárovka obsahující wolframové vlákno. [13, 30, 31]

Jako dělič paprsků se nejčastěji využívá tenká vrstva vhodného materiálu s vysokou propustností a vysokým indexem lomu (například oxid železitý) naneseného na nosič často z fluoridu vápenatého. Správná funkce interferometru závisí na velmi přesných pohybech pohyblivého zrcadla, které zajišťuje helium-neonový laser. Rychlost kmitů zrcadla jsou v řádech několika  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  do stovek  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Vstupující paprsek do interferometru je rozdělen na dvě složky, přičemž jedna složka je odrážená od fixního zrcadla a druhá od zrcadla pohyblivého. V samotném interferometru dochází k interferenci paprsků, tedy

k zesílení paprsků setkávajících se ve fázi. Postupnou změnou vzdálenosti pohyblivého zrcadla dochází ke změně vlnových délek zesíleného záření. Pokud je do interferometru vložena kyveta obsahující absorbující vzorek, dochází při průchodu paprsku k zeslabení záření s charakteristickými vlnovými délkami. Dopadající světlo na fotočlánek v detektoru je přeměněno na elektrický signál. Detektor je volen dle konkrétního spektrálního oboru záření. Mezi užívané detektory patří například PbSe, InGaAs, PbS, InSb a tak dále. Fotodetektory s přímou detekcí nejsou použitelné z důvodu neschopnosti excitace elektronů infračerveným zářením. [9]



Obrázek 4. Michelsonův interferometr [13]

### 1.3.2 Disperzní infračervené spektroskopy

V dnešní době méně využívaný a konstrukčně starší typ spektroskopu, který byl konstruován jako jednopaprskový nebo dvoupaprskový. Jednopaprskový disperzní spektroskop je složen ze zdroje záření, rotujících zrcadlových segmentů, mezi které je umístěna kyveta se vzorkem a nad ní srovnávací prostředí, monochromátoru, detektoru a zařízení pro vyhodnocování. Jako zdroj polychromatického spojitého infračerveného záření slouží elektricky rozžhavená tyčinka (Globar, Nernstova tyčinka). Záření by mělo být poskytováno v širokém rozmezí vlnových délek. Na kovových mřížkách dochází k rozkladu infračerveného záření. Detektory jsou zde užívány polovodičové, které mají rychlou odezvu, termoelektrické články nebo pyroelektrické detektory (TGS, DTGS). U polovodičových detektorů je možno provést detekci za pomoci diodového pole

skládajícího se ze stovek malých polovodičových detektorů detekujících záření různých vlnových délek. Princip pyroelektrických detektorů spočívá ve změně polarizovatelnosti ferroelektrických látek, a to v závislosti na teplotě. Změna intenzity záření způsobí rozdíl v teplotě daného materiálu a tím dojde k změně polarizace jeho molekul, což vede ke vzniku elektrického proudu, jehož hodnota se poté detekuje. [14, 32]

### 1.3.3 Tvorba kalibračních modelů – kvantitativní analýza

Dle fyzikálních jevů užitých při získávání NIR spekter lze rozdělit tyto metody na dvě skupiny. První technikou je transmise, při které se stanovuje absorpce záření po jeho průchodu vzorkem. Druhou metodou je reflektance, která využívá měření absorpce záření poté, co se paprsek odrazí od povrchu vzorku. [22]

Stejně jako v klasické absorpční spektroskopii, tak i NIR spektroskopie využívá Lambert-Beerův zákon pro závislost absorbance a koncentrace látky v kapalném roztoku.

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon \cdot c \cdot l} \quad (1.2)$$

Kde:

$I$  – energie, která prošla vzorkem látky [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

$I_0$  – energie dopadající na vzorek [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

$\varepsilon$  – molární absorpční koeficient [ $\text{dm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ]

$c$  – koncentrace vzorku [ $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ]

$l$  – tloušťka vrstvy vzorku [cm]

Pro úpravu rovnice je využíváno vztahů pro transmitanci ( $T$ ) a absorbanci ( $A$ ):

$$T = \frac{I}{I_0} \cdot 100; [\%] \quad A = \frac{I_0 - I}{I_0} \cdot 100; [\%] \quad (1.3, 1.4)$$

Po aplikaci těchto vztahů je možno Lambert-Beerův zákon zjednodušit na:

$$A = -\log \frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot c \cdot l [\%] \quad (1.5)$$

Kde  $\varepsilon$  je molární absorpční koeficient [ $\text{dm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ]. Po sestrojení kalibrační křivky je následně stanoveno množství analyzované látky. Využití Lambert-Beerova zákona je možné pouze u transparentních vzorků, které nejsou kalné a kde nehrozí rozptyl záření ve

vzorku. Pro získání požadovaných dat u vícesložkových vzorků, kde různé analyty absorbují záření stejných vlnových délek, je využíváno matematických a statistických metod. Využívá se například multivariantní kalibrace, která hledá vztah mezi daty získanými pomocí infračervené spektrometrie a daty získanými standardním laboratorním měřením. Dále se může použít také metoda multivariantní klasifikace. [33]

Při tvorbě kalibrací může u všech typů použitých metod dojít k určitému pochybení. Mezi první z možných chyb patří nekorektní určení koncentrací daných komponent ve standardu. Dále může při chybném kopírování kvantitativních dat dojít k nesprávnému vložení hodnot koncentrací daných komponent ve standardu do tabulky. Také mohou standardy nedostatečně popisovat funkci absorbance a koncentrace. V případě špatného vzorkování, vysoké absorbance a tak dále, může dojít ke vzniku nekvalitních spekter standardů. Poslední z možných pochybení může být špatné zvolení optické vrstvy. [32]

## 2 POPIS VYBRANÝCH MASNÝCH VÝROBKŮ

Mezi předpokládané vlastnosti masa pro výrobu požadovaných masných výrobků patří celá škála parametrů. Požadované vlastnosti lze posuzovat z několika hledisek, a to jak z hlediska ekonomického, kdy je potřeba produkovat takové masné výrobky, u kterých jsme schopni docílit vysoké výtěžnosti, zisku a rentability, tak z hlediska jakosti výrobků, kdy jsou konkurenceschopné a úspěšné na trhu. Mezi nejdůležitější technologické vlastnosti masa, pro splnění výše uvedeného, patří: co možná nejvyšší podíl svalové tkáně, vysoký podíl bílkovin – především myofibrilárních bílkovin, vysoká vaznost masa – jak u vody vlastní, tak u vody technologicky přidané, vysoká stabilita vůči autooxidačním změnám u tukového podílu masa, požadovaný průběh posmrtných změn masa, typická barva masa pro daný druh a anatomickou část s typickou vůní a chutí. [34]

V rámci této diplomové práce byla zaměřena pozornost na párky, což je masný výrobek, který se podle Vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 69/2016 Sb. o požadavcích na maso, masné výrobky, produkty rybolovu a akvakultury a výrobky z nich, vejce a výrobky z nich (dále jen Vyhláška) řadí do skupiny tepelně opracovaných masných výrobků. Skupiny masných výrobků dle zmíněné vyhlášky jsou uvedeny v následující tabulce č. 2. Pojmem maso je dle Vyhlášky rozuměno (s výjimkou jatečně upraveného neděleného a děleného těla drůbeže): výsekové maso, krev, kosti, droby, mleté maso, syrový lůj a syrové sádlo, maso zvíře ve farmovém chovu a zvěřina. [35]

Tabulka 2. Legislativní členění masných výrobků a masných polotovarů na druhy a skupiny [35]

<b>Druh</b>	<b>Skupina</b>
masný výrobek	tepelně opracovaný
	tepelně neopracovaný
	tepelně neopracovaný pro tepelnou úpravu
	trvanlivý tepelně opracovaný
	trvanlivý fermentovaný
	konzerva
	polokonzerva
masný polotovar	

Z legislativního a technologického pohledu lze za tepelně opracovaný masný výrobek považovat takový výrobek, u kterého bylo dosaženo minimálně tepelného účinku, který odpovídá působení teploty 70 °C po dobu 10 minut ve všech jeho částech. Vyhláška také

stanovuje požadavky na složení a jakost vybraných tepelně opracovaných masných výrobků, jako je vídeňský párek, debrecínský párek, jemný párek či lahůdkový párek. Základní surovinu těchto výrobků by mělo tvořit maso hovězí či vepřové, u vídeňského a debrecínského párku lze použít i maso telecí. U výše uvedených výrobků není povoleno jako základní surovinu pro výrobu použít strojně oddělené maso či drůbeží strojně oddělené maso. U daných tepelně opracovaných masných výrobků Vyhláška stanovuje chemické a fyzikální požadavky, které jsou uvedené v tabulce 3. [35]

Tabulka 3. Chemické a fyzikální požadavky vybraných druhů párků [35]

<b>Výrobek</b>	<b>Obsah masa (% hmot. nejméně)</b>	<b>Čistá svalová bílkovina (% hmot. nejméně)</b>	<b>Obsah tuku (% hmot. nejvýše)</b>
Párek vídeňský	55	-	40
Párek lahůdkový	50	-	35
Debrecínský párek	60	-	40
Párek jemný	50	-	35

Neméně důležitým parametrem, který je potřeba dodržet, jsou smyslové požadavky. Konzistence u vídeňského párku by měla být pružná a soudržná, na řezu by měl být masově růžový s jemně vypracovaným obsahem, ve kterém je připuštěna drobná pórovitost s drobnými zrny kolagenních částic. Výrobek by měl mít vůni čerstvé uzeniny a chuť přiměřeně slanou a kořeněnou, po ohřátí křehký na skusu, šťavnatý. Požadavky u debrecínského párku jsou stanoveny následovně: konzistence pevná a pružná, vychlazený výrobek by měl mít tmavě růžovou barvu po použití masa a papriky, ve spojce jsou přípustné ojedinělé měkké kolagenní částice, drobné vzduchové dutinky, patrné částice použitého koření a nepravidelná mozaika z tukových částic o velikosti do 6mm. Chuť by měla být přiměřeně slaná a výraznější v důsledku přidání papriky, po ohřátí výrobku je šťavnatý a křehký na skusu. Obdobně jsou požadavky také stanoveny u jemného a lahůdkového párku, a to jak pro konzistenci, vzhled v nákroji a vypracování, tak pro chuť a vůni. [35]

Vyhláškou se dále také stanovují požadavky na vybrané drůbeží tepelně opracované masné výrobky. Jsou zde vymezeny rovněž základní suroviny pro výrobu, tak smyslové požadavky na konečný výrobek.

## 2.1 Suroviny na výrobu tepelně opracovaných masných výrobků

V následující kapitole jsou uvedeny běžně využívané suroviny pro výrobu tepelně opracovaných masných výrobků (TOMV), přičemž konkrétní výrobky dané skupiny se liší zejména v poměrech použitých surovin nebo například druhem použitých kořeních směsí.

### 2.1.1 Maso získané z jatečných zvířat

Maso je samozřejmě základní surovinou pro výrobu masných výrobků. Pro určité druhy tepelně opracovaných masných výrobků, jako je například šunka, je využívána čistá svalovina. Avšak pro většinu tepelně opracovaných masných výrobků se využívá výrobní maso, vzniklé jako vedlejší produkt při bourání cenných svalových partií na výsek. Velmi často se kombinuje určité množství libového masa s tučnějším podílem. Pro zabezpečení výroby hygienicky nezávadných výrobků, je důležitý výběr kvalitních surovin, které byly podrobeny veterinární prohlídce. Maso dodávané do výroby je při převážce kontrolované dle dodacího listu, a to zejména zda byla dodržena hmotnost, jakost, výrobní druh či teplota po celou dobu přepravy. Výrobní druh masa je nyní běžně označován V1 až V10 pro vepřové maso a H1 až H5 pro maso hovězí. Každý výrobní druh má přesně stanovené vlastnosti, složení a jeho běžné použití. Jako příklad používaného výrobního masa pro výrobu párků lze uvést z vepřového výrobní druh V4, což jsou libové ořezy, které obsahují podíl kloubních pouzder a šlach, krvavé ořezy obsahující viditelný tuk v množství 25 %. Tento výrobní druh je využíván na tvorbu spojky a jemně mělněných výrobků. Jako tukový podíl je přidáván výrobní druh masa V9 popř. V10. U V9 se jedná o tučné ořezy z kýty, pečeně plec a krku, které se právě využívají jako spojka (u některých výrobků také jako vložka) do výrobků zejména nižší a střední třídy. Jako spojka do výrobků nižších tříd je využíván výrobní druh V10, což je měkký tuk bez paždíku. Z hovězích výrobních mas lze pro výrobu párků využít výrobních druhů H3, H4 a H5. [36, 37]

### 2.1.2 Pitná voda

Voda, která je v masné výrobě využívána, musí splňovat přísná kritéria na svou jakost dle platných norem pro pitnou vodu. Spotřeba vody v masném průmyslu je velmi značná, a to jak z důvodu jejího užívání jako přímé složky do masného výrobku, tak z důvodu využívání vody k mytí zařízení používaných v masné výrobě. Zhruba se jedná o spotřebu 15 m<sup>3</sup> na výrobu jedné tuny masných výrobků, dále například cca 1 m<sup>3</sup> při porážení jednoho kusu dobytka. Jakost pitné vody je důležité z hlediska ovlivňování jakosti

masného výrobku, ta není ovlivňována za splnění předpokladu, že použitá voda vyhovuje svým složením platným normám. V dnešní době je maso při masné výrobě mēlněno na výkonných mēlnicích zařizenech, kde dochází k zahřívání díla vlivem mechanické práce. Pro zamezení zahřívání, které by mohlo způsobovat denaturaci bílkovin, a tím i ke snížení vaznosti, je voda obvykle přidávána ve formě šupinkového ledu. [34, 38, 39, 40]

### 2.1.3 Sůl a solící směsi

Sůl je v masném průmyslu využívána hned z několika různých důvodů a z technologických vlastností patří mezi velmi důležitou surovinu. Sůl zajišťuje chuť, konzistenci, vaznost a také údržnost výrobku. Avšak přídavek soli do masných výrobků je ohraničen limity, a to zejména ze zdravotního hlediska a vlivu sodíku na zvyšování krevního tlaku konzumentů. Koncentrace soli je limitována na cca 2 % soli v masných konzervách až po 4,2 % v uzeném mase a u tepelně neopracovaných trvanlivých výrobků. Rychlosti difuze soli do masa je ovlivněna teplotou, kdy prostup soli je rychlejší při zvyšující se teplotě. [34, 38, 41]

To, v jaké podobě je sůl do výrobku přidávána, určuje požadovaná barva konečného výrobku. U výrobků, kde není třeba zachovat růžovou barvu masa, je běžně přidáván chlorid sodný. Jedná se o tradiční výrobky, jako jsou například tlačanky, jitrnice či vinné klobásy. U velké části masných výrobků je však vyžadováno růžové zbarvení konečného masného výrobku. V těchto případech se používají dusitanové a dusičnanové solící směsi. Dusitanová solící směs vzniká mísením chloridu sodného, jehož obsah ve směsi činí 94 %, dusitanu sodného, u kterého je stanoven limit ve směsi 0,5 – 0,6 %, škrobového sirupu a škrobového cukru. Vlhkost této dusitanové solící směsi by neměla přesáhnout 4 %. Dusičnanová solící směs je připravena smícháním chloridu sodného s dusičnanem sodným či dusičnanem draselným, a to v množství maximálně 3 %. Běžně při tepelném opracování dochází k oxidaci myoglobinu, což je červené barvivo, na metmyoglobin hnědošedé barvy. K tomuto jevu dochází běžně například při vaření masa. Pokud se ovšem do výrobku přidá dusitan, dochází k jeho redukci na oxid dusnatý, který se dále váže na myoglobin za vzniku nitroxymyoglobinu. Za působení vyšší teploty se nitroxymyoglobin mění na stabilní nitroxymyochrom požadované růžové barvy. [34, 38]



#### 2.1.4 Bílkovinné přísady

Bílkovinné přísady jsou do masných výrobků přidávány z několika důvodů. Jedná se zejména o zlepšení technologických vlastností masného výrobků, také o zvýšení jeho nutriční hodnoty a posledním důvodem jsou ekonomické zájmy. Z hlediska obsahu esenciálních masných kyselin mají vysokou nutriční hodnotu bílkovinné přísady živočišného původu. Do takových bílkovin patří například svalové bílkoviny, bílkoviny mléka, bílkoviny vajec či bílkoviny krve. Z důvodu obsahu limitujících aminokyselin v bílkovinách rostlinného původu je nutriční hodnota těchto přísad podstatně nižší. Pokud je provedena vhodná kombinace jednotlivých přísad rostlinného původu, lze dosáhnout optimální nutriční hodnoty této bílkovinné přísady. Velmi často se provádí kombinace bílkovin sóji a pšenice, kdy bílkovina sóji doplňuje obsah lysinu, který je v pšeničné bílkovině obsažen jen v malém množství, a naopak pšeničná bílkovina kompenzuje nízký obsah aminokyselin obsahující síru v bílkovině sóji. [34, 39, 42]

Bílkovinné přísady by měly vykazovat určité vlastnosti, podobné vlastnostem aktinu a myosinu. Je požadováno, aby bílkovina byla snadno rozpustná v solných roztocích, tvořila viskózní roztok a také zkoagulovala za tvorby pevného gelu při tepelné úpravě. Tyto bílkovinné přísady jsou přidávány zejména s úmyslem upravit poměr bílkovin a tuku tak, aby nedocházelo k tzv. zkrácení díla, kdy se během technologického zpracování odděluje vývar a tuk. Avšak vysoký přídavek bílkovinných přísad může mít i negativní dopady, kdy může dojít k výraznému poklesu barvy výrobku, snížení intenzity chuti či k její odchylce. Při přídavku velkého množství sójové bílkoviny (nad 2 %) dochází k odchylce chuti masného výrobku, kdy získává luštěninovou chuť. [34, 39, 42]

#### 2.1.5 Sacharidické přísady

Pod pojem sacharidické přísady spadá škrob, mouka a výrobky z nich. Tyto přísady jsou v masné výrobě využívány zejména ke zvýšení vaznosti masa a také pro zlepšení vázání tuku v daném výrobku. Škrob je velmi často přidáván do jemně mělněných masných výrobků, tedy párků, a také do masných konzerv vyráběných z mělněného masa. Je užíván zejména škrob kukuřičný či bramborový. Výhoda při přídavku mouky je její dostupnost a především nízká cena. Používá se mouka pšeničná hrubá v množství maximálně do 3 % u povolených masných výrobků. Další využívanou sacharidickou složkou je například strouhanka, která se přidává do pečených masných výrobků, dále kroupy, které jsou součástí prejtů. V neposlední řadě je využíván cukr, který má určité funkce při

fermentačním procesu u trvanlivých salámů, a také zjemňuje chuť jejich chutí. Obsah cukru činí cca 0,1 – 0,4 %. [34, 41]

### 2.1.6 Koření a ochucující látky

Kořením lze označit látky rostlinného původu, které jsou charakteristické určitou intenzivní vůní a chutí. Jsou běžně využívány pro ochucování potravin, přičemž v masné výrobě pomáhá přídavek koření zajistit typickou chuť finálního masného výrobku. Mezi tzv. domácí koření běžně využívaná v masné výrobě lze zařadit například kmín, mletou papriku či drhnutou majoránku. Lze využít také koření, jež není běžně pěstováno na území České republiky. Mezi tato tropická a subtropická koření patří například pepř černý a pepř bílý, kardamon, muškátový květ, skořice či zázvor. [34, 41]

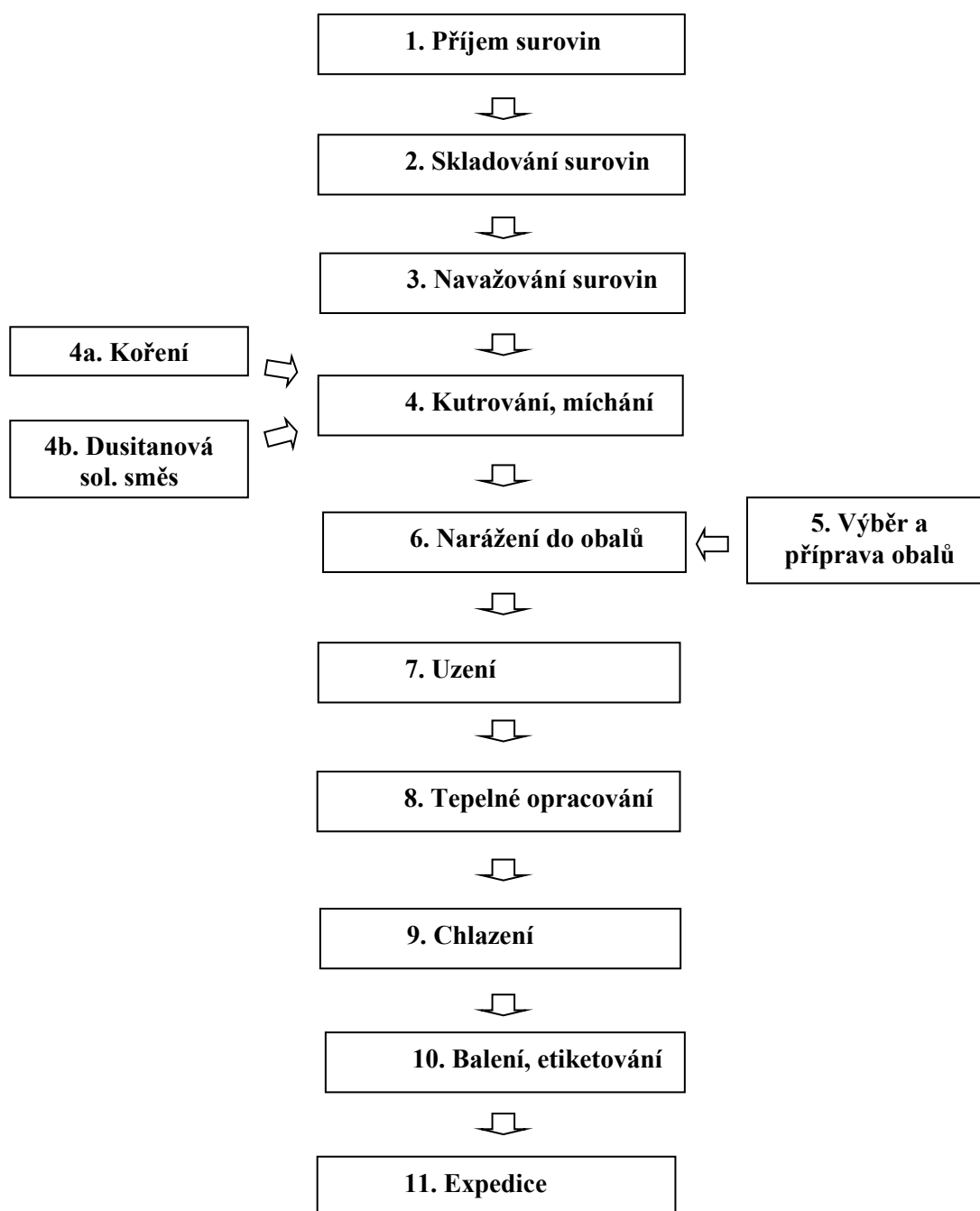
### 2.1.7 Obalové materiály

Při narážení díla jsou využívány různé druhy obalových střevek. Rozlišujeme přírodní střevek, kolagenní neboli klihovková střevek, plastová střevek a celulósová střevek. Každý druh obalového střevek má jak své výhody, tak určité nevýhody. Přírodní obaly mají získanou oblibu pro své přirozené vlastnosti, jako je křehkosti na skusu, lehká stravitelnost, roztažitelnost při narážení díla nebo také smrštitelnost při uzení výrobku. Jistá nevýhoda z technologického hlediska je jejich nestandardnost, co se týká délky, průměru či jejich jakosti. Klihovková střevek jsou vyráběná ze štípenkové klihovky, což je přírodní materiál vznikající jako vedlejší produkt v koželužnách. Mezi jejich přednosti patří snadné propouštění vodní páry či aromatických složek pocházejících z udícího kouře. Jejich dodávání ve formě kalibrovaných střevek řasených v roubících umožňuje efektivitu a velkou produktivitu při narážení. Nevýhodou může být jejich menší elasticita a tloušťka. V poslední době jsou ve velké oblibě používána plastová střevek, a to hlavně pro jejich bariérové vlastnosti. Je možné je vyrábět v mnoha barevných kombinacích s požadovanými potisky. V poslední řadě jsou využívána celofánová (celulósová) střevek, která jsou opravdu velmi elastická, propustná pro kouř, kyslík i páru. Avšak v případě, že jsou laková, stávají se pro tyto složky nepropustná. [34, 39]

## 2.2 Technologie výroby TOMV

Pod pojmem masná výroba si lze představit výrobu a produkci široké škály druhů masných výrobků, přičemž za dodržení postupu a sledu několika technologických operací, je dosaženo výrobku s požadovanou barvou, strukturou, údržností a senzorickými

vlastnostmi. Po jatečnictví a bourání masa, je masná výroba třetí hlavní fází, co se týče zpracování těl jatečných zvířat a masa. Díky složitosti jednotlivých technologických operací a výrobních postupů, a také na základě velké rozmanitosti konečných masných výrobků, je masná výroba považována za nejvíce členěnou výrobní fázi. Získaný masný výrobek lze charakterizovat jako bílkovinnou potravinu vyrobenou z předvařeného či syrového opracovaného masa s přidanými pomocnými ochucujícími látkami, přičemž daná potravina má specifické organoleptické vlastnosti a tvar. [38, 42, 43]



Obrázek 5. Schéma výroby drobných tepelně opracovaných MV - párků

### 2.2.1 Mělnění, míchání

K provádění těchto dvou technologických kroků, které většinou probíhají současně, se využívají různě výkonné kutry či řezačky. V závislosti na nastavení rychlosti nožů kutru v kombinaci s dobou mělnění, či průměru otvorů v desce řezačky, je získán požadovaný stupeň rozmělnění díla. V tomto složitém ději dochází zejména k rozmělnění větších kusů masa a promíchání s vodou (šupinkový led), danými přísadami a kořením. Takto je získáno hotové dílo, u kterého je vytvořena požadovaná struktura masného výrobku. Při mělnění a míchání surovin pro výrobu párků, jakožto jemně mělněných výrobků, dochází k vytvoření díla sestávajícího se pouze ze spojky, což je polydisperzní systém tvořen sítí nabobtnalých myofibrilárních bílkovin, ve které jsou emulgovány kapičky tuku. Vložka v případě párků není přítomná. K zamezení nadměrného zahřívání díla, kromě přídavku vody ve formě šupinkového ledu či mělnění zmrazeného masa, je zapotřebí, aby nože kutru byly dostatečně ostré. [40, 41]

### 2.2.2 Solení

Solení patří mezi technologicky významný krok, který je nezbytnou součástí při výrobě masných výrobků. Jedná se o komplexní proces, během kterého dochází k řadě chemických, fyzikálně-chemických a mikrobiálních změn. Účel solení spočívá zejména v inhibici mikroorganismů (MO) a tím k prodloužení údržnosti výrobku a také v dosažení optimální slanosti výrobku. Přítomnost soli je také velmi důležitá z technologického pohledu v souvislosti s vybarvením masa a masných výrobků, konzistencí a v neposlední řadě s rozpustností svalových bílkovin, díky nimž je zajištěna vaznost vody v masném díle. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole č. 2.1.3, k solení se využívá buďto samotný chlorid sodný či dusitanové a dusičnanové solící směsi v závislosti na druhu masného výrobku a jeho požadovaném zbarvení. Využívání dusitanových směsí má několik důvodů, ať už se jedná o inhibici anaerobních sporulátů, podílení se na tvorbě vůně a chuti výrobku, ale zejména zajišťuje typické růžové zbarvení masných výrobků i po jejich tepelném opracování. [34, 38, 44, 45, 46]

Samotné solení masa je prováděno několika způsoby, opět v souvislosti s daným typem výrobku. V případě mělněných masných výrobků, je prováděn přídavek solící směsi přímo do mělníčního zařízení spolu s masem a dalšími složkami. [39, 46]

### 2.2.3 Plnění, narážení do obalů

Při plnění samotného díla do obalů, ihned po jeho připravení, jsou k narážení využívány tzv. narážečky. Ty jsou v dnešní době většinou vakuové a umožňují tak odjímání vzduchu z díla při procesu plnění. Dílo s požadovanou teplotou a strukturou je naráženo do přírodních či umělých střev, čímž si získá svůj tvar, velikost a kompaktnost bez pórovitosti na řezu výrobkem. Naplněné obaly se zavazují, často se také převazují motouzem, či je aplikována sponovacím zařízením spona, která pokrývá celý obvod obalu bez jeho protržení. Tyto technologické obaly, které jsou v mnoha případech i obalem distribučním, umožňují jak zavěšení výrobků na udírenské hůlky, tak tepelné opracování. V masném průmyslu je využívána široká škála druhů střev, kdy všechny druhy plní důležitou roli z hygienického hlediska masného výrobku. Ve výrobě se lze setkat s přírodními střevy sušenými nebo solenými (vepřové, hovězí nebo skopové), klihovkovými střevy, celofánovými, papírovými či plastovými střevy. Každý z uvedených obalů má určité přednosti, a to například z pohledu bariérových nebo sensorických vlastností (viz. kapitola 2.1.7). [34, 43, 47]

### 2.2.4 Uzení

Stejně tak jako u většiny ostatních technologických operací, tak i využití procesu uzení má několik účelů. Jeden z nich je zajištění požadovaných organoleptických vlastností, zejména chuti, vůně a povrchového zabarvení. Dále se jedná o konzervační zákrok, který umožňuje dosažení údržnosti masného výrobku. Té je obvykle dosaženo tepelným ošetřením během uzení a současně působením konzervačních látek kouře, mezi které řadíme například formaldehyd. K procesu uzení dochází v udírnách, kde je masný výrobek vystaven působení kouře, popřípadě teple. Jako zdroj kouře se obvykle používají doutnající piliny nebo dřevěné štěpky. Moderní udírny používané v dnešní době jsou automatizované a lze tak upravovat podmínky při procesu uzení v závislosti na daném výrobku. Jedním z rizik při procesu uzení je vznik PAU a následná kontaminace masných výrobků, přičemž u různých způsobů vyvíjení kouře se obsah PAU liší. [46, 48, 49, 50]

Existuje několik používaných způsobů uzení, které se volí v závislosti na druhu výrobku, vlastnostech, kterých je třeba docílit, zvyklostech a tak dále. Většinou je žádoucí, v souvislosti s použitým způsobem, získat odpovídající aromatizaci a barvu povrchu daného výrobku. Prvním způsobem uzení je uzení studeným kouřem, kdy jsou použity teploty v rozmezí 12 – 25 °C. Ty s ohledem na konkrétní typ MV působí v řádech hodin až

dní. Tento typ uzení je standardně využíván u fermentovaných MV. Dalším způsobem uzení je uzení teplým kouřem. Zde jsou stanoveny parametry pro teplotu, která se pohybuje v rozmezí 23 – 45 °C, relativní vlhkost, odpovídající hodnotám 70 – 80 % a dobu působení, což je obvykle 4 – 48 hodin. Jelikož tímto typem uzení dojde k ošetření pouze vrchní vrstvy MV, prování se následně také vaření či pečení. Tento způsob je vhodný a běžně užíván k uzení větších kusů masa. Posledním ze způsobů uzení je uzení horkým kouřem, což patří mezi nejvyužívanější způsob uzení v dnešní době a je to právě tento typ uzení, který je využíván při výrobě párků. V tomto případě se teplota pohybuje mezi 80 až 90 °C. Proces uzení se může skládat z několika částí, jako je: vybarvování, osušování, samotné uzení a ováření. Každá z těchto fází má své specifické parametry. [34, 39, 48]

### 2.2.5 Tepelné opracování

Hlavním cílem tepelného opracování masného výrobku, je zejména zajištění jeho údržnosti. Dále tepelné opracování přispívá k vůni, barvě a celkové struktuře a vzhledu výrobku. Jak již v této práci bylo uvedeno, je nutné dosáhnout tepelného ošetření, které odpovídá pasteračnímu účinku, tzn. působení teploty 70 °C po dobu nejméně 10 minut v jádře výrobku. Samotný proces tepelného opracování může probíhat již během uzení. Dále se provádí vaření ve vodě či v páře, u vařených masných výrobků, nebo také pečení, u výrobků jako je např. sekaná. Během tepelného ošetření probíhají v masném výrobku chemické a enzymatické reakce, na jejichž základě je pozměněna enzymová aktivita, konformace proteinů masa a tak dále. V důsledku zvýšené teploty a hydrolýzy probíhající ve výrobku dochází k rozrušení peptidické vazby a následné degradaci aminokyselinových zbytků, kdy dochází k jejich oxidaci a zesílení a tak i k tvorbě sensoricky aktivních látek. [39, 51, 52]

### 2.2.6 Chlazení

Vyrobené masné výrobky je nutno co nejrychleji ochladit na teplotu pod 10 °C, avšak rychlost chlazení by neměla být příliš vysoká, aby nedošlo k tzv. chladovému zkrácení, kdy se maso stává tuhým. Tímto procesem je snaha zabránit rozvoji potencionálně přítomných MO, které přežily proces tepelného opracování. Rychlost chlazení také zabraňuje hmotnostním ztrátám, které by nastaly při odpařování vody během pomalého ochlazování výrobků v kličovce či přírodních střevech, které jsou propustným obalem. Samotné chlazení se provádí za pomoci chladné pitné vody, a to buďto ponořením výrobku

do vody nebo sprchováním zavěšených výrobků v kombinaci s působením studeného vzduchu. Po samotném chlazení se masné výrobky nechávají oschnout. [34, 38, 39, 40]

### **2.2.7 Balení a expedice**

Vychlazené masné výrobky, které jsou opatřeny technologickým obalem, jsou volně loženy v bednách z materiálu pro styk s potravinami, ve kterých jsou přepraveny buďto do meziskladu nebo do prostor vlastní expedice. Výrobky bez technologických obalů jsou před ložením do beden opatřeny například celofánovým přířezem. Běžně se poté výrobky balí do ochranné atmosféry, modifikované atmosféry nebo se balí vakuově. Použití zejména modifikované atmosféry (MA) zajišťuje ochranu produktů během skladování vůči mikrobiologickým, fyzikálním a chemickým změnám. Účinek MA by měl být eliminační pro oxidoredukční změny a inhibiční pro nežádoucí MO. Skladování hotových masných výrobků by mělo optimálně probíhat za teplot 4 – 8 °C při relativní vlhkosti vzduchu 75 – 80 %. [34, 53]

### 3 VYUŽITÍ NIR SPEKTROSKOPIE V POTRAVINÁŘSTVÍ

Technika NIR je v současné době hojně využívána v oblasti potravin, a to díky schopnosti hlubšího průniku do struktury vzorku, jak u suroviny, meziprojektu tak i u konečného výrobku. U těchto vzorků mohou být danou metodou stanovovány obsahové údaje, jako například obsah sacharidů, tuků, bílkovin, vody, minerálních látek, ale i senzorické a funkční vlastnosti vzorku. [54]

Stanovování sacharidů bývá prováděno například u ovocných šťáv, ve kterých dochází k určení jednotlivých cukrů. Pro získání celkového obsahu sacharidů je využíváno transmitance za použití vlnových délek 2200 nm. Spektra při stanovení sacharidů si jsou navzájem velmi podobná, jelikož se u všech zástupců v jejich struktuře ve velké míře vyskytují vazby C–H a skupiny O–H. Další velevýznamnou složkou potravin je voda, jejíž obsah bývá za pomoci NIR spektroskopie stanovován velmi často zejména v mléčných výrobcích jako jsou sýry, jogurty, sušené mléko. Technika NIR lze pro stanovení obsahu vody využít také při analýze zeleniny, ovoce nebo také cereálií a daných mlýnských produktů. Touto technikou se také běžně v praxi stanovuje obsah tuku, přičemž mezi nejčastěji analyzované vzorky patří zejména mléko a mléčné výrobky, maso a masné výrobky nebo také brambory a produkty z brambor. [27, 55, 56, 57, 58]

Mimo stanovení celkového obsahu tuků se mnoho autorů zabývalo měřením konkrétních mastných kyselin pomocí NIR spektroskopie. Mastné kyseliny byly touto metodou stanovovány například v mléce, králičím mase či olivovém oleji. U mléka a mléčných výrobků lze kromě jeho složení pomocí NIR spektroskopie stanovit také množství kaseinu a jeho frakcí, pH, kolagenní částice, titrační kyselost či množství somatických buněk. Lze také stanovit obsah určitých minerálních látek v sýrech. [59, 60, 61, 62, 63]

Technika NIR byla mnohými autory zvolena pro stanovení minoritních složek obilovin a jejich produktů. Konkrétně byl stanoven obsah složek jako je škrob, rozpustná a nerozpustná vláknina nebo také  $\beta$ -glukany. Také u alkoholických nápojů je využíváno NIR spektroskopie. U piva lze analyzovat obsah alkoholu či obsah hořkých kyselin v použitém chmelu. Obsah ethanolu byl stanovován také u destilátů či vína, u kterého lze touto metodou určit také obsah polyfenolů. [64, 65, 66, 67, 68, 69]

NIR spektroskopie je velmi často využívána ke stanovení množství alkaloidů v kávě a čaji, kdy těmi nejčastějšími jsou kofein, teofylin a teobromin. Při pražení kávových zrn dochází k degradaci termolabilních látek, avšak NIR metodou lze stanovit například obsah



chlorogenové kyseliny obsažené v kávových zrnech před samotným pražením. Mnoho autorů se zabývá velkým množstvím parametrů při hodnocení káv, u kterého jim může právě NIR spektroskopie být užitečná. Za její pomoci lze určit také například optimální stupeň pražení kávových zrn nebo složení směsi z různých druhů káv. [70, 71, 72, 73, 74]

Velkou zajímavostí a výhodou NIR spektrometrie je její využití při analýze také sensorických vlastností potravin. Touto metodou lze z mechanických vlastností potravin určit například tuhost či křehkost, avšak byly již provedeny také studie zabývající se hodnocením dalších parametrů za využití NIR, a to zejména právě u masa. Jednalo se o hodnocení žvýkatelnosti, šťavnatosti či přijatelnosti a textury. Jisté studie také ukazují, že na základě výsledků sensorických parametrů získaných za pomoci FT–NIR spektrometrie, je možné maso řadit do jednotlivých jakostních tříd. Tato metoda lze využít také při hodnocení sensorických vlastností u mléčných výrobků, například u sýrů lze vyhodnocovat pružnost, měkkost, tvrdost, lepivost, konzistenci či soudružnost. [75, 76, 77, 78]

Další využití našla NIR spektrometrie při hodnocení mikrobiologických procesů během výroby a skladování potravin. U masa a masných výrobků vytvářejí mikroorganismy typické požadované vlastnosti konečného výrobku, kdy je možné sledovat probíhající změny jako je pH nebo vodní aktivita. U fermentace piva kvasinkami lze sledovat změny pH a narůstající množství ethanolu. Tvorbu ethanolu a obsah cukrů lze touto metodou sledovat také u fermentace vín a kontrolovat tak její správnost. [79, 80, 81]

Do další skupiny potravin, často analyzovaných FT–NIR spektrometrií, patří med, který bývá velmi hojně falšován. Touto metodou u něj lze hodnotit zejména přídavek cukerných sirupů, což je v rozporu s platnou legislativou. Opravdu často je v potravinářském průmyslu nahrazována dražší složka potravin levnější variantou, což lze touto metodou také poměrně snadno odhalit. Jedná se například o falšování sýrů za pomocí rostlinných tuků, přídavek kravského mléka při výrobě kozích sýrů, nastavování hovězího mletého masa krutím masem či přídavek sušené syrovátky do sušeného mléka. Pomocí FT–NIR spektroskopie lze také velmi snadno objevit potravinářská aditiva využívaná při výrobě. [82, 83, 84, 85]

### 3.1 Využití NIR spektrometrie v masném průmyslu

Časté využití má NIR spektroskopie při analýze vlastností a chemického složení masa. Tuto metodu lze díky její nedestruktivnosti aplikovat přímo na analyzovaný vzorek, či ji lze použít na vzorky v obalech, které jsou transparentní. Aplikace NIR spektroskopie

přímo na vzorek umožňuje vyhodnotit vlastnosti konkrétního místa z analyzovaného vzorku. U masných výrobků dochází k analýzám zejména hlavních složek potravin, jako jsou bílkoviny, tuk a voda, jelikož citlivost této metody k minoritním složkám je velmi slabá. Samotná voda může způsobovat problémy při měření, a to z důvodu silné absorpce záření. [86, 87, 88, 89]

V historii využívání NIR spektroskopie k provádění analýzy masa a masných výrobků byla hodnocena celá škála parametrů. V první studii za využití výše zmíněné metody bylo v homogenizovaných vzorcích masa stanovováno množství tuku a vody. Tato studie, kterou vykonal Karl Norris, proběhla již v roce 1968. Do konce dvacátého století následovala celá řada studií, ve kterých byl například stanovován obsah tuku, a to i u ryb a rybích výrobků. Jednalo se jak o kvantitativní, tak kvalitativní analýzu. Informace o složení mastných kyselin pomocí NIR spektrometrie lze určit jak u nasycených mastných kyselin, tak u monoenoových mastných kyselin. Pokud se NIR spektroskopie vhodně použije v kombinaci se spektroskopií ve viditelné oblasti, je možné posoudit mramorování masa tukem, a to i v jeho struktuře pod povrchem na základě světelné propustnosti. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole č. 3, u masa a masných výrobků se velmi často využívá této metody při hodnocení křehkosti masa, což je řazeno do senzorických vlastností masa a masných výrobků. Na základě získaných výsledků lze maso či masný výrobek přiřadit do dané třídy kvality, lze tedy provést takzvanou kategorizaci. Vyhodnocení čerstvosti masa je velmi důležité, a to například u ryb, jejichž maso rychle podléhá zkáze. Byly tedy provedeny studie zaměřující se na čerstvost masa během skladování, a to jak u ryb, tak i u masa kuřecího či vepřového. Další zajímavé studie byly také provedeny se zaměřením na hodnocení vodní aktivity nebo na množství soli v konečných masných výrobcích. [88, 90, 91, 92, 93]

Na základě velkého množství doposud provedených studií lze konstatovat, že NIR spektroskopie je jedna z nejvýhodnějších metod pro analýzu masa a také masných výrobků. Jelikož lze touto metodou určit opravdu velký rozsah vlastností a parametrů. Mimo výše uvedené se jedná například o určení schopnosti masa vázat vodu a dle výsledků jej klasifikovat. V tomto případě se jedná o maso vepřové, hovězí či rybí. Z kulinářského i zdravotního hlediska je v dnešní době důležitý obsah intramuskulárního tuku, který lze pomocí NIR spektroskopie určit jak u hovězího a vepřového masa, tak i u masa drůbežního. Z pohledu již hotových masných výrobků lze například na základě barvy a textury

klasifikovat šunky, u kterých lze touto metodou stanovit také obsah bílkovin a vody. [89, 94, 95, 96, 97]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce byla tvorba databáze NIR spekter vybraných masných výrobků. Následně byla provedena analýza získaných spekter, přičemž byla kladena otázka na využití právě infračervené spektrometrie ke stanovení parametrů, jako je obsah tuku, obsah bílkovin nebo obsah sušiny ve vybraných masných výrobcích. K dané analýze byly vybrány vzorky vepřových párků běžně se vyskytující v tržní síti.

Dílčí cíl teoretické části mé diplomové práce se zaměřuje zejména na principy NIR spektrometrie, dále na přístrojové vybavení potřebné k získávání NIR spekter a popis tvorby kalibračních modelů. Další z dílčích cílů teoretické části je věnován popisu masných výrobků se zaměřením na suroviny pro výrobu TOMV a na technologii výroby TOMV. V neposlední řadě bylo popsáno využití NIR spektrometrie v potravinářství obecně a také přímo v masném průmyslu.

Praktická část této práce obsahuje několik dílčích cílů. U vybraných masných výrobků byl proveden základní chemický rozbor a následně proběhlo proměření těchto masných výrobků za pomoci NIR spektrometrie. Na základě získaných dat byly poté vytvořeny kalibrační modely pro základní složky všech analyzovaných vzorků párků z tržní sítě. Získané výsledky byly v závěrečné části práce vyhodnoceny, srovnány s výsledky z dostupné literatury a posouzeny z hlediska využití.

## 5 MATERIÁLY A METODIKA

### 5.1 Vzorky a chemikálie

Pro vlastní analýzu byly vybrány vzorky vepřových párků běžně dostupných v tržní síti. Konkrétně se jednalo o 28 druhů vepřových párků s odlišným složením. Mezi nimi byly párky s obsahem masa pouze 60 % a vysokým obsahem tuku, v některých případech i 40 %. Vybrány byly ale také párky s vysokým obsahem masa – až 90 % a nižším obsahem tuku. Přehled párků, které byly zakoupeny v tržní síti a následně podrobeny analýze k účelům této práce, je uveden v tabulce č. 4. Zde jsou uvedeny bližší informace o analyzovaných vzorcích, jako je přesný název a hodnoty pro obsah masa a tuku, jež jsou uvedeny výrobcem na obalu.

#### **Použité chemikálie:**

- hexan
- 96 % kyselina sírová
- peroxid vodíku
- směsný katalyzátor  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{SO}_4$  (1 : 10)
- 2 % kyselina boritá
- 30 % hydroxid sodný
- indikátor Tashiro
- odměrný roztok 0,025M kyseliny sírové
- destilovaná voda

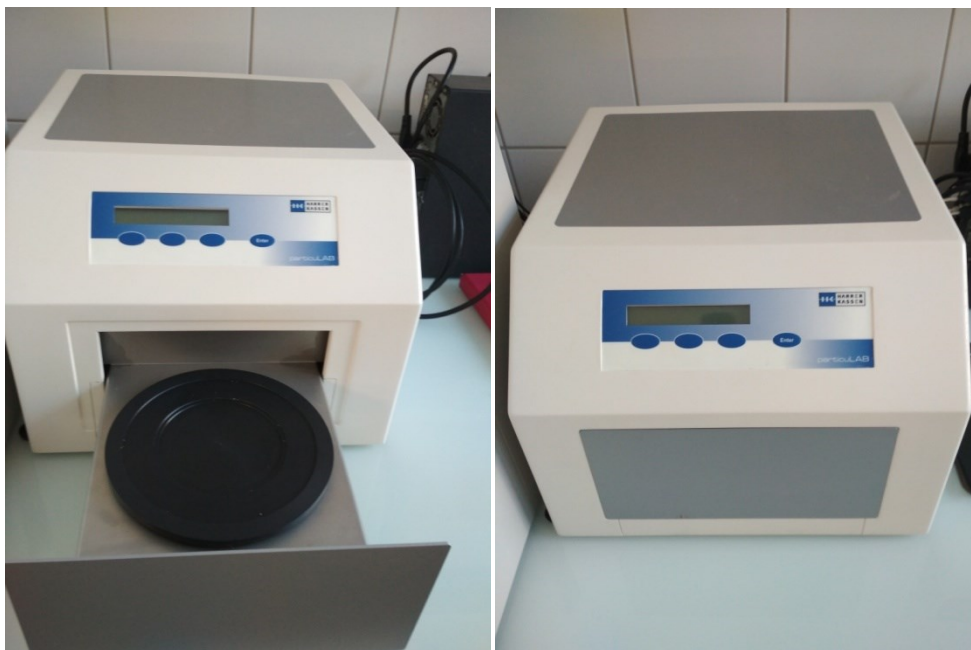
Tabulka 4. Přehled použitých vzorků párků

Č. vzorku	Název	Údaje uvedené výrobcem	
		Obsah masa [%]	Obsah tuku [%]
1	Vídeňské párky zauzené ve skopovém střívku	86	max. 30
2	Schneider - Vepřové párky	60	max. 35
3	Franfurtské párky jemně kořeněné PONNATH	85	max. 25
4	Vídeňské párečky CHODURA	min. 65	max. 40
5	Libové párky SKALIČAN	68	max. 35
6	Točený salám extra	min. 61	max. 40
7	Poctivý vídeňský párek	90	max. 28
8	Delikatesní párky zauzené	88	max. 30
9	Junior párečky Schneider	vepřové 68, hovězí 15	max. 27
10	Párky párečky KRÁSNO	86	max. 30
11	Bio Vídeňské párky lahodné chuti	84	max. 27
12	Šunkové vídeňské párky zauzené	86	max. 20
13	Vídeňské párky Řeznictví LECHOTICE	53	max. 35
14	Párky pro děti SLÁMA	vepřové 75, hovězí 5	25,4
15	Pochoutkové párky BARONI	krůtí 50, vepřové 17	max. 25
16	Delikatesní vídeňské párky DULANO	vepřové 85	max. 29
17	Vídeňské minipárky PIKOK	vepřové 85	max. 29
18	Lahůdkové párky DULANO loupané	vepřové 81	26
19	Šunkové párky PIKOK	vepřová kýta 93	max. 29
20	Vepřové párečky PIKOK	vepřové 83	max. 25
21	Štrasburské párky loupané DULANO	vepřové 87	28
22	Vepřové párky SCHNEIDER	vepřové 85	max. 25
23	Poctivý Vídeňský párek pro děti	vepřové 90	19,3
24	Vídeňské minipárečky	vepřové 85	max. 20
25	Vídeňské párky ŘEZNÍKŮV TALÍŘ	vepřové 90	max. 40
26	Jemné párky	vepřové 90	max. 35
27	Vídeňské párky naše BIO	bio vepřové 84	max. 26
28	Libové párky	vepřové 84	max. 26

## 5.2 Přístrojové vybavení

Nejzásadnější přístroj využívaný pro tvorbu této práce, byl infračervený spektrometr HK10 particuLAB, jenž pochází od výrobce Harrer & Kassen GmbH. Tento infračervený spektrometr patří mezi moderní NIR zařízení, které dokáže snadno určit organické složky v pevných, práškových i pastových produktech. Tento spektrometr je založen na principu

reflexe, kdy je během měření odrazu produkt ozářen halogenovým světlem, následně je odražená část detekována senzorem a postupuje do diodového pole pomocí speciálního optického kabelu. Předmětný spektrometr je uveden na obrázku 6.



Obrázek 6. Infračervený spektrometr

K samotnému vyhodnocení získaných spekter byl využíván program pocházející od stejného výrobce jako výše uvedený spektrometr, a to program Specter v. 4.0.

Jako další byly v práci při referenčních stanovení využívány níže uvedené přístroje:

- lyofilizátor ALPHA 1-4 LSC, CHRIST - Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen, Německo
- váhy PLJ - Kern, ČR
- analytické váhy LA214 - VWR International, ČR
- sušárna BMT Venticell - Brněnská medicínská technika, ČR
- mineralizátor Digesdahl model 23130-20 - HACH, USA
- destilační zařízení - Behr, Německo
- Soxtherm – Gerhard, Německo



### 5.3 Referenční stanovení

Aby bylo možné sestavit dané kalibrační modely pro stanovované parametry, bylo nutné provést referenční stanovení u vzorků analyzovaných párků. U každého vzorku bylo provedeno stanovení obsahu tuku, bílkovin a celkové sušiny.

#### 5.3.1 Stanovení obsahu tuku

Pro stanovení obsahu tuku byla použita metoda dle Soxhleta, což je jedna z modifikací extrakčních metod pro stanovení tuků. Při této metodě je tuk ze vzorku extrahován nepolárním rozpouštědlem, které je následně odpařeno. Získaný vyextrahovaný podíl tuků je poté zvážen.

Samotné stanovení bylo provedeno navážením 2 g vzorku po lyofilizaci do extrakční patrony, která byla následně utěsněna a vložena do extraktoru. Dále bylo přidáno 100 ml hexanu, jakožto extrakčního činidla, do zvážené extrakční baňky. Topným hnízdem byla baňka vyhřívána po dobu tří hodin a následně byla ponechána do vychladnutí. V závěrečném kroku byla baňka umístěna na vakuovou odparku, kde byla odpařena do docílení konstantní hmotnosti. Nakonec byla baňka opět zvážena. Toto stanovení bylo provedeno u každého vzorku třikrát.

Pro získání hodnot určujících obsahu tuku byl použit následující vzorec:

$$\text{obsah tuku} = \frac{m_3 - m_1}{m_2} \cdot 100 [\%] \quad (5.1)$$

Kde:

$m_1$  – hmotnost extrakční baňky včetně varných kamínků [g]

$m_2$  – hmotnost navážky vzorku [g]

$m_3$  – hmotnost extrakční baňky s tukem po odpaření rozpouštědla [g]

#### 5.3.2 Stanovení obsahu bílkovin

Obsah bílkovin byl stanoven metodou dle Kjeldahla s úpravou podle Winklera. Metoda spočívá v mineralizaci vzorku, která se provádí koncentrovanou kyselinou sírovou za varu. Tím se docílí převedení celkového obsahu dusíku na amoniakální formu. Samotná mineralizace se provádí za přítomnosti katalyzátoru a oxidačního činidla, kdy se látky bílkovinné povahy rozkládají na  $\text{NH}_3$ . Ten vzápětí reaguje s kyselinou sírovou za vzniku síranu amonného.

Na analytických vahách bylo do mineralizační zkumavky odváženo 0,25 g vzorku, ke kterému bylo poté přidáno 10 ml koncentrované kyseliny sírové, 0,5 ml peroxidu vodíku a malé množství směsného katalyzátoru tvořeného pentahydrátem síranu měďnatého a síranem sodným v poměru 1:10. Takto připravena baňka byla promíchána a vložena do mineralizátoru, kde probíhala po dobu jedné hodiny samotná mineralizace při teplotě 400 °C. Po skončení mineralizace byla mineralizační zkumavka ponechána ve stojanu do vychladnutí a následně byl obsah převeden do odměrných baněk. Pro provedení destilace byl mineralizát napipetován v množství 10 ml do destilační baňky spolu s 30 % hydroxidem sodným. Amoniak, který se při destilaci uvolňuje, byl jímán do předlohy obsahující 50 ml 2 % kyseliny borité. Po dokončení destilace byly k destilátu v předloze přidány 3 – 4 kapky indikátoru Tashiro a následně byl destilát podroben titraci roztokem 0,025M kyseliny sírové do dosažení červenofialového zbarvení.

$$\text{obsah hrubé bílkoviny} = M_N \cdot V \cdot c \cdot 10^{-3} \cdot f_z \cdot f_t \cdot f_{př} \quad [\text{g}] \quad (5.2)$$

Kde:

$M_N$  – molární hmotnost N [ $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ]

$V$  – spotřeba odměrného roztoku  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [ml]

$c$  – koncentrace odměrného roztoku  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [ $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ]

$f_z$  – poměrový zředovací faktor

$f_t$  – titrační faktor

$f_{př}$  – přepočítávací faktor (6,25)

### 5.3.3 Stanovení obsahu celkové sušiny

Stanovení sušiny bylo provedeno smísením vzorku s pískem a následným sušením této směsi do konstantní hmotnosti dle technické normy ČSN 57 6021. Stejně jako stanovení tuku, bylo i stanovení sušiny provedeno 3x pro každý vzorek.

Pro vypočtení obsahu sušiny, bylo potřeba hliníkové misky s pískem a skleněnou tyčinkou řádně vysušit a poté zvážít. Do zvážené misky byl následně odvážen vzorek v množství zhruba 3 gramů. Již takto připravená miska se vzorkem byla skleněnou tyčinkou promíchána a poté vložena do sušárny, kde byla opět ponechána do dosažení konstantní

teploty. Teplota v sušárně činila 102 °C. Nakonec byla miska i s vysušeným vzorkem opět zvážena.

Pro vypočtení obsahu sušiny byl nejdříve aplikován následující vzorec, který využívá rozdílů hmotností pro stanovení obsahu vody ve vzorku:

$$\text{obsah vody ve vzorku} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 [\%] \quad (5.3)$$

Kde:

$m_1$  – hmotnost misky před sušením [g]

$m_2$  – hmotnost misky se vzorkem před sušením [g]

$m_c$  – hmotnost misky se vzorkem po sušení [g]

Z vypočteného množství vody ve vzorku byl následně stanoven obsah sušiny dle následujícího rovnice:

$$\text{obsah sušiny} = 100 - \text{obsah vody v \%} [\%] \quad (5.4)$$

#### 5.4 Měření infračervených spekter

Samotnému měření spekter předcházela příprava vzorků, kdy párky byly nejprve homogenizovány pomocí tyčového mixéru, a poté byla získaná hmota přenesena do Petriho misek. Vzorek byl v Petriho misce naplněn do roviny s výškou stěny a povrch byl následně uhlazen. Takto připravena miska se vzorkem byla vložena do spektrometru, kde proběhlo vlastní měření infračervených spekter. Pro získání objektivních dat byl vzorek po dvou provedených měřeních obrácen a opět dvakrát snímán.

K měření infračervených spekter byl využíván infračervený spektrometr HK 10 particuLAB od výrobce Harrer & Kassen. K samotnému měření spekter v módu difúzní reflexe bylo zvoleno rozpětí vlnových délek 925 – 1375 nm. Měření u každého vzorku bylo provedeno čtyřikrát po dobu třiceti sekund a to ve dvou odlišných integračních časech. Integračním časem se rozumí doba samotného snímání spektra. Volba integračního času má velký dopad na výsledek vzniklého spektra, jelikož čím delší je volená doba měření, tím větší je i šum měření. Při velmi dlouhém integračním čase může dojít k zahlcení detektoru spektrometru, a tudíž spektrální záznamy nejsou získány. Výběr integračních časů byl proveden na základě zkoušky měření nejsvětějšího vzorku, tak aby

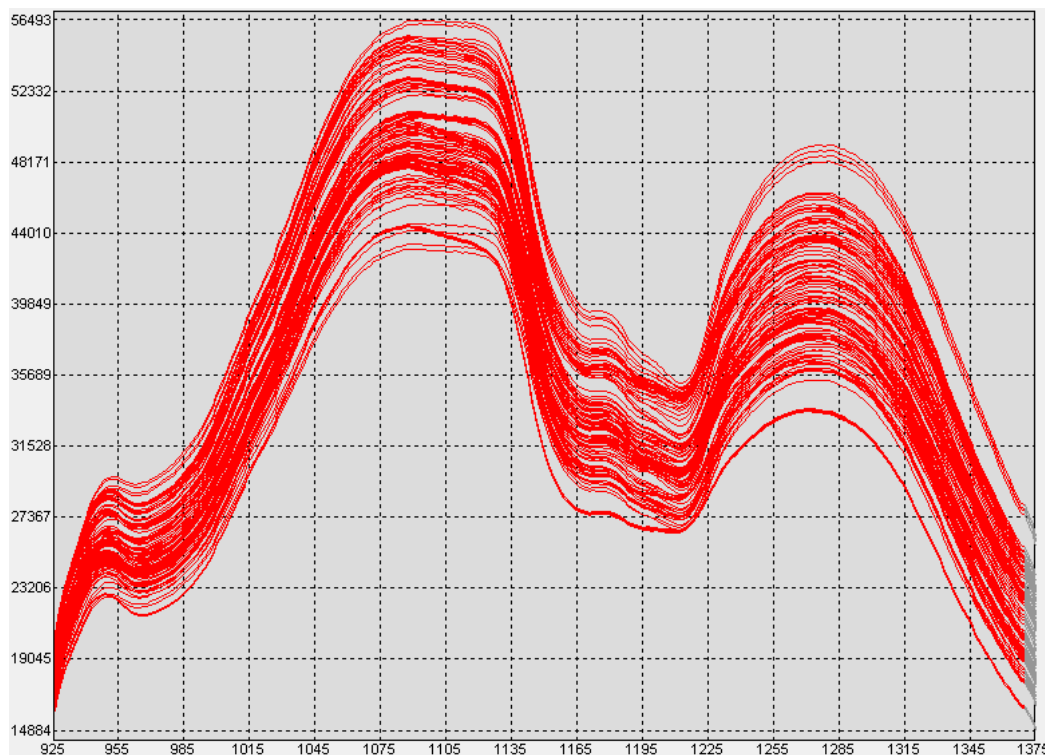
světelný zdroj měřil v mezích detekce 50 000 – 55 000. První ze zvolených integračních časů byl 7 x 12 ms, druhý použitý integrační čas pak byl 8 x 12,5 ms.

## 5.5 Tvorba kalibračních modelů a statistické vyhodnocení

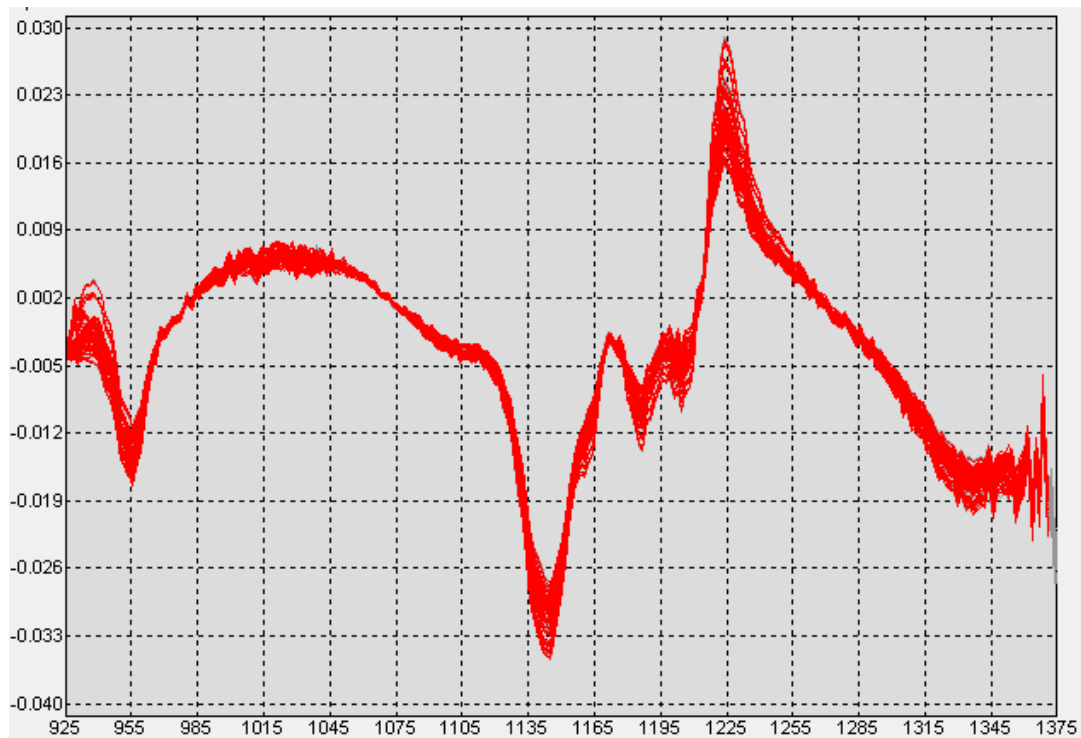
Spektra získaná uvedeným postupem v kapitole 5.4, byla použita k tvorbě kalibračních modelů určených ke stanovení parametrů vzorků párků, a to bílkoviny, tuku a sušiny. K tvorbě kalibračních modelů byl používán program Specter v. 4.0., který je zmíněn v kapitole 5.2. Nestandardizované záznamy spekter získané v předešlém kroku (kap. 5.4), byly nahrány do kalibračního programu a následně byly k daným spektrům přiřazeny referenční hodnoty jednotlivých parametrů.

Následujícím krokem, při tvorbě kalibračních modelů, bylo provedení standardizace získaných spekter, k čemuž byl využíván standardizační mód Special. Tento mód zohledňuje a kompenzuje barevné změny vzorků a také případné staří lampy spektrometru.

Na následujících obrázcích můžeme vidět příklad záznamu nestandardizovaného spektra získané přímo po měření (Obrázek 7) a ukázkou již standardizovaného záznamu NIR spektra (Obrázek 8).



Obrázek 7. Záznam NIR spektra vzorků párků při IT 7 x 12,5 ms



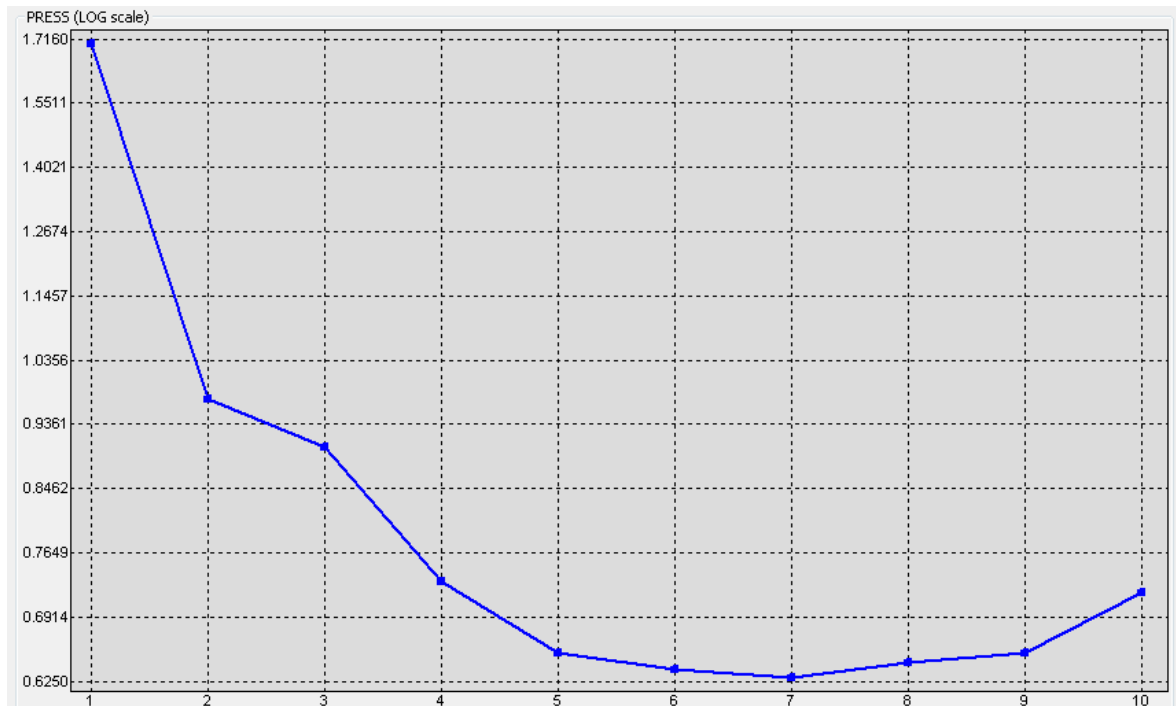
Obrázek 8. Záznam NIR spektra vzorků párků po standardizaci při IT 7 x 12,5 ms

V obou uvedených případech leží na ose x hodnoty vlnové délky v nanometrech. Na obrázku číslo 7 popisuje osa y světelnou intenzitu, kdežto hodnoty ležící na ose y na obrázku číslo 8, vyjadřují její derivaci.

Pro sestavování kalibračních modelů nebývají využita všechna spektra. Množství spekter, která následně nejsou pro kalibraci využita, bývá stanoveno výrobcem. U programu, který byl používán pro účely této práce, bylo výrobcem doporučeno vyloučit 20 – 30 % spekter. Tyto vyloučené spektra jsou využita až při ověření kalibračního modelu neboli validaci.

V následujícím kroku byl stanoven počet faktorů PLS. K tomuto výpočtu mohou být využity 3 různé metody. Program umožňuje výběr z možností výpočtu „linear“, „CROSS“ a „auto“. Možnost výpočtu „linear“ provádí výpočet bez jakékoliv kontroly, kvalitu kalibrace lze posoudit pouze na základě kvalitativního indikátoru PRESS. Tento typ výpočtu je doporučován pouze k přepočtu již existující kalibrace. Výpočet pomocí možnosti „CROSS“, který byl zvolen pro účely této práce, zahrnuje do výpočtu i křížovou validaci, kdy každý jednotlivý vzorek je z kalibrace vyloučen a kalibrační model je vypočten ze zbytku vzorků. U daného kalibračního modelu je vypočtena odchylka vyloučených vzorků, což umožňuje určit optimální počet regresivních kroků. Tento počet je nejvhodnější v minimu hodnoty PRESS. Tento typ výpočtu je sice výpočetně náročný, avšak kvůli provedení validace by měl být vždy upřednostněn před možností výpočtu

„linear“. Jako příklad je uvedena grafická závislost hodnoty funkce PRESS na počtu PLS faktorů na následujícím obrázku č. 9.



Obrázek 9. Grafická závislost hodnoty funkce PRESS na počtu PLS faktorů pro kalibrační model tuku s IT 7 x 12,5 ms

Pro každý stanovovaný parametr byl vypočítán kalibrační model, a to na základě zvoleného počtu PLS faktorů. Získané modely jsou uvedeny a blíže popsány v kapitole číslo 6.

### 5.5.1 Statistické vyhodnocení získaných výsledků

U dat získaných spektrálními měřeními byla provedena validace pomocí hodnot z referenčních stanovení obsahu tuku, sušiny a bílkovin. Jelikož jednotlivá měření při stanovování referenčních hodnot byla opakována vícekrát, bylo možné provést odhad střední hodnoty. Ta byla odhadnuta aritmetickým průměrem podle vztahu uvedeného níže (5.4). Odhad střední hodnoty je dále využíván při samotném sestavování kalibračních modelů.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.4)$$

Kde:

$x_i$  – hodnota daného parametru pro  $i$ -té měření

$n$  – počet měření

Pro posouzení přesnosti měření byla vypočtena podle vztahu níže (5.5) směrodatná odchylka ( $S$ ) daných referenčních stanovení.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5.5)$$

Kde:

$\bar{x}$  – hodnota aritmetického průměru

$x_i$  –  $i$ -tá hodnota

$n$  – počet měření

Dále bylo provedeno také posouzení přesnosti již vytvořeného kalibračního modelu, a to výpočtem střední kvadratické chyby, která je označována zkratkou z anglického názvu RMSEC a střední kvadratické validace označované zkratkou RMSEV. Výpočty těchto parametrů jsou uvedeny v následujících vztazích (5.6 a 5.7).

$$\text{RMSEC} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2}{n_{cal}}} \quad (5.6)$$

Kde:

$\hat{x}_i$  – hodnota daného parametru konkrétního vzorku získaná z kalibračního modelu

$x_i$  – hodnota daného parametru konkrétního vzorku získaná referenčním stanovením

$n_{cal}$  – počet použitých měření k sestavení kalibračního modelu

$$\text{RMSEV} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2}{n_{val}}} \quad (5.7)$$

Kde:

$\hat{x}_i$  – hodnota daného parametru konkrétního vzorku získaná z kalibračního modelu

$x_i$  – hodnota daného parametru konkrétního vzorku získaná referenčním stanovením

$n_{val}$  – počet použitých měření k provedení validace (vyloučená data ze souboru k sestavení kalibračního modelu)

Parametry RMSEC a RMSEV by měly dosahovat co nejnižší hodnoty, přičemž rozdíl mezi jednotlivými parametry by měl být co nejmenší. Při této skutečnosti lze považovat kalibrační model za spolehlivý.

Spolehlivost vytvořeného kalibračního modelu lze usuzovat i na základě hodnoty determinačního koeficientu ( $R^2$ ), kdy za robustní model lze považovat takový, kterému náleží hodnota  $R^2$  pohybující se v rozmezí 0,90 – 1. Za velmi silnou závislost lze označit koeficient determinace v intervalu 0,95 – 0,99.

Optimální počet PLS faktorů lze určit s využitím funkce PRESS, která využívá následujícího vztahu (5.8). Vhodný počet faktorů pak odpovídá minimu hodnoty funkce PRESS. Ke stanovení byl použit program Specter v. 4.0.

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (\hat{c}_i - c_i)^2 \quad (5.8)$$

Kde:

$c_i$  – koncentrace referenční pro  $i$ -tý vzorek, jež byl pro kalibraci vyřazen

$\hat{c}_i$  – odhadovaná koncentrace

$n$  – celkový počet použitých vzorků

Pro zhodnocení rozdílů mezi referenčními a NIR hodnotami byl využit Studentův test (t-test), který porovnává výsledky středních hodnot uspořádaných dvojic. Statistické testování bylo provedeno na hladině významnosti 0,05, přičemž je-li testovací kritérium menší než kritická hodnota, poté rozdíl mezi středními hodnotami je pouze náhodným jevem.



## 6 EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY A DISKUZE

Tato práce byla zaměřena na stanovení hodnot obsahu tuku, bílkovin a sušiny u 28 různých druhů párků běžně dostupných v tržní síti. Vzorky párků byly podrobeny referenčnímu měření a následně proměřeny infračerveným spektrometrem. Samotná měření spekter byla provedena ve dvou různých integračních časech, a to v módu s integračním časem 7 x 12,5 ms a v módu s integračním časem 8 x 12,5 ms. Získaná spektra byla nahrána do kalibračního programu a podrobena standardizaci. V závěrečném kroku byly sestaveny kalibrační modely na základě získaných spekter a porovnání referenčních hodnot vybraných ukazatelů a hodnot vypočítaných softwarem.

### 6.1 Referenční stanovení

Byla provedena referenční stanovení pro obsah tuku, obsahu bílkovin a obsahu sušiny ve vzorcích párků dle metod a postupů uvedených v kapitole 5.3. Pro přehlednou sumarizaci získaných hodnot daných parametrů referenčním stanovením, je níže uvedena tabulka č. 5, která uvádí stanovené hodnoty u všech vzorků párků zakoupených v tržní síti včetně směrodatné odchylky.

Tabulka 5. Přehled stanovených hodnot jednotlivých parametrů

Číslo vzorku	Obsah sušiny (%)	Obsah bílkovin (%)	Obsah tuku (%)
1	40,99 ± 0,11	12,65±0,28	24,79 ± 0,10
2	44,79 ± 0,16	13,20 ± 0,08	25,96 ± 0,03
3	38,53 ± 0,07	14,44 ± 0,11	20,19 ± 0,09
4	39,74 ± 0,06	12,28 ± 5,78	21,44 ± 0,06
5	40,03± 0,03	12,67 ± 0,60	18,23 ± 0,09
6	42,52 ± 0,07	10,28 ± 1,56	23,05 ± 0,11
7	41,97 ± 1,28	12,92 ± 1,40	23,16 ± 1,22
8	41,84 ± 0,06	12,45 ± 0,09	24,64 ± 0,04
9	48,81 ± 0,52	11,04 ± 0,05	27,08 ± 1,52
10	37,13 ± 0,01	15,45 ± 0,61	16,74 ± 0,09
11	40,57 ± 0,07	13,30 ± 0,08	23,97 ± 0,46
12	35,71 ± 0,10	15,86 ± 0,32	14,46 ± 0,05
13	37,79 ± 0,11	14,25 ± 0,05	16,38 ± 0,88
14	35,73 ± 0,36	10,95 ± 0,30	21,08 ± 0,16
15	36,01 ± 0,17	14,22 ± 0,11	14,54 ± 0,11
16	43,67 ± 0,12	12,92 ± 0,65	26,74 ± 0,09
17	39,80 ± 0,01	12,55 ± 0,12	23,66 ± 1,15
18	39,63 ± 4,62	13,80 ± 0,10	24,13 ± 0,15

Číslo vzorku	Obsah sušiny (%)	Obsah bílkovin (%)	Obsah tuku (%)
19	43,25 ± 0,12	13,50 ± 0,09	23,98 ± 1,09
20	41,87 ± 0,03	13,49 ± 0,05	24,10 ± 0,06
21	44,02 ± 0,02	13,57 ± 0,04	25,64 ± 0,11
22	49,90 ± 0,18	14,14 ± 0,19	32,01 ± 0,15
23	37,23 ± 0,07	14,76 ± 0,65	18,38 ± 0,03
24	35,98 ± 0,24	15,92 ± 0,31	15,86 ± 0,18
25	49,97 ± 0,11	12,12 ± 0,06	34,64 ± 0,95
26	54,23 ± 0,30	12,82 ± 0,02	37,24 ± 0,05
27	40,05 ± 0,04	12,93 ± 0,07	23,60 ± 0,04
28	36,28 ± 0,09	11,77 ± 0,27	18,85 ± 0,08
Minimální hodnota	35,71	10,28	14,46
Maximální hodnota	54,23	15,92	37,24

Na základě porovnání údajů deklarovaných výrobcem na obalech výrobků, které jsou uvedeny v tabulce 5.1, se získanými hodnotami referenčním stanovením uvedenými v tabulce 6.1 se ukázalo, že z pohledu obsahu tuku jsou stanovené hodnoty u většiny výrobku ve shodě s hodnotami deklarovanými, respektive nepřekračují maximální přípustné množství tuku. Tento parametr byl překročen u výrobků č. 22 a 26, kde je obsah tuku překročen cca o 7 a 2 %.

Obsah bílkovin uváděný na většině předmětných vzorků se pohyboval v rozmezí cca 12 – 17 g bílkovin na 100 g výrobku. Referenční stanovení ukázalo, že se žádná z hodnot pro obsah bílkovin výrazně nevychyluje od tohoto rozmezí.

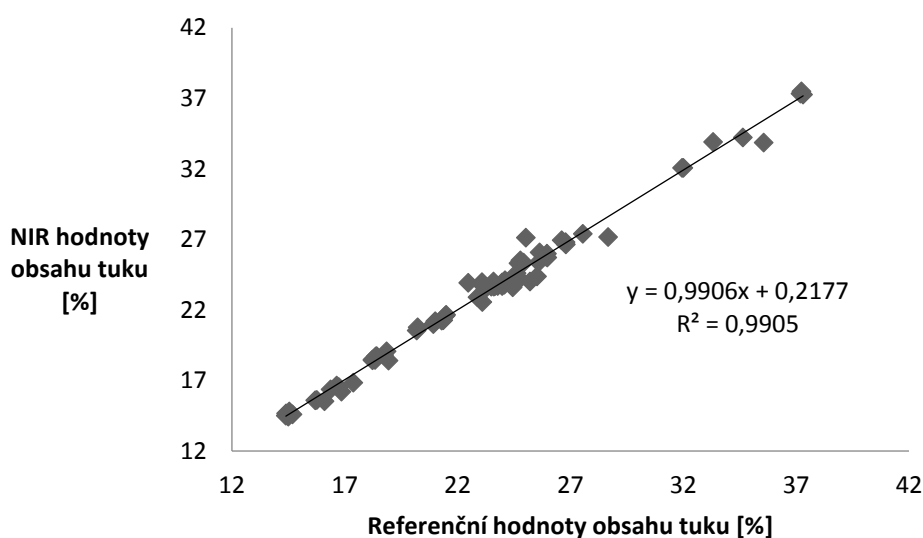
Referenční hodnoty byly přiřazeny ke spektrům a na základě hodnot vypočítaných softwarem byly sestaveny jednotlivé kalibrační modely pro obsah sušiny, bílkovin a tuku.

## 6.2 Kalibrační modely s integračním časem 7 x 12,5 ms

Na základě získaných NIR spekter jednotlivých vzorků párků, jež byly v rámci této práce změřeny, byly sestaveny kalibrační modely pro jednotlivé parametry – obsah tuku, bílkovin a sušiny. Tato kapitola uvádí sestavené kalibrační modely pro dané parametry založené na NIR spektrech měřených při integračním čase 7 x 12,5 ms.

### 6.2.1 Kalibrační model obsahu tuku při IT 7 x 12,5 ms

Pro sestavení kalibračního modelu bylo z celkového počtu 110 naměřených spekter vzorků použito 75 pro samotné sestavení kalibrační přímky a 35 pro validaci sestaveného modelu. Grafická závislost mezi hodnotami stanovenými referenčně a hodnotami získanými ze sestaveného kalibračního modelu pro obsah tuku je uveden na následujícím obrázku č. 10.



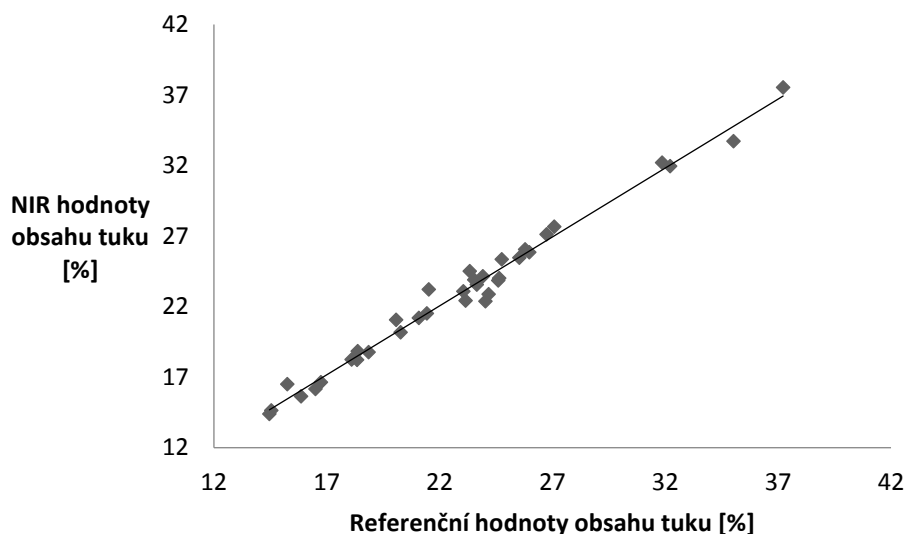
Obrázek 10. Kalibrační křivka pro obsah tuku pro integrační čas 7 x 12,5 ms

Z grafické závislosti kalibračních hodnot pro stanovení tuku je patrné, že data jsou poměrně rovnoměrně rozložena kolem přímky, avšak největší množství hodnot se pohybuje kolem 25 %. Nejmenší stanovená referenční hodnota obsahu tuku činila 14,39 %, naopak nejvyšší pak 37,31 %. Průměrný obsah tuku byl  $23,00 \pm 5,52$  %. V následující tabulce 6 jsou uvedeny jednotlivé charakteristiky pro vytvořený kalibrační model obsahu tuku v párcích, kdy ke stanovení počtu PLS faktorů byla využita funkce PRESS.

Tabulka 6. Parametry kalibračního modelu pro obsah tuku při IT 7 x 12,5 ms

Rovnice kalibrační přímky	$R^2$	RMSEC	RMSEV	Počet PLS faktorů
$y = 0,990x + 0,217$	0,9905	0,542	0,683	10

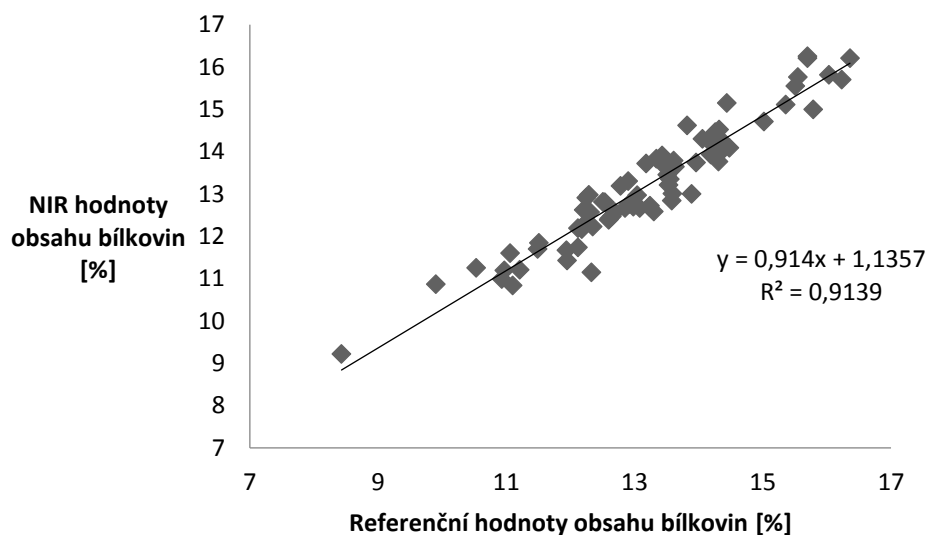
Grafická závislost pro obsah tuku v párcích mezi referenčním stanovením a za využití NIR spektrometrie pro spektra vybrána k validaci modelu, je znázorněna na obrázku 11. Do validace bylo vybráno 35 spekter.



Obrázek 11. Grafická závislost validace obsahu tuku ve vzorcích párků při IT 7 x 12,5 ms

### 6.2.2 Kalibrační model obsahu bílkovin při IT 7 x 12,5 ms

K vytvoření kalibračního modelu pro obsah bílkovin ve vzorcích párků byla využita naměřená spektra vzorků párků při integračním čase 7 x 12,5 ms. Celkový počet spekter byl 110, přičemž použito pro tvorbu kalibrační přímky bylo 74 spekter a 36 spekter bylo využito pro ověření daného kalibračního modelu. Graf závislosti hodnot stanovených referenční analýzou a NIR hodnotami, je znázorněn na obrázku 12.



Obrázek 12. Kalibrační křivka pro obsah bílkovin pro integrační čas 7 x 12,5 ms

Hodnoty obsahu bílkovin byly relativně dobře rozloženy podél přímky kalibrace. Největší množství hodnot se pohybuje v rozmezí od 11 do 15 %, což odpovídá obvyklému množství

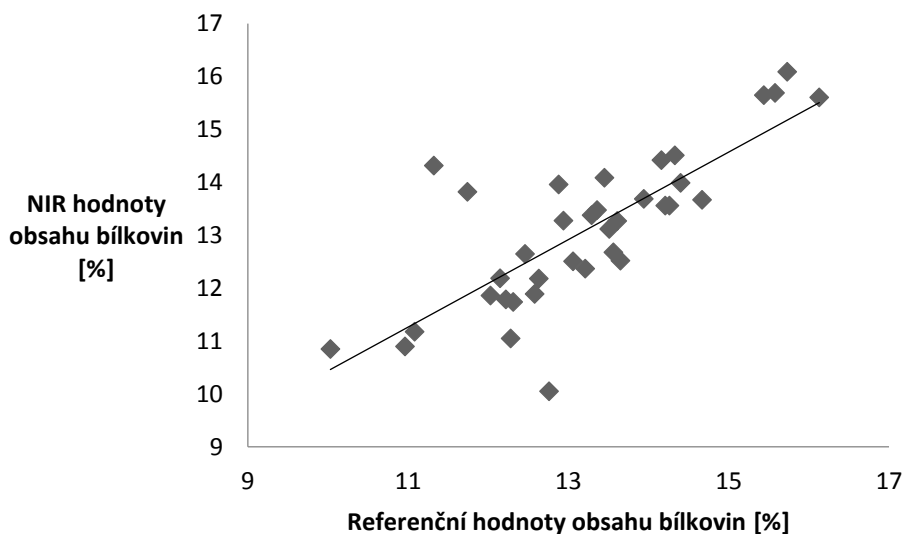
bílkovin v daných vzorcích. Minimální referenčně stanovená hodnota obsahu bílkovin ve vzorku byla 8,43 %, naopak nejvyšší hodnota 16,36 %. Průměrný obsah bílkovin ve vzorcích činil  $13,21 \pm 1,45$  %.

Parametry získané ze závislosti referenčních hodnot a hodnot stanovených NIR spektrometrií, jsou uvedeny v následující tabulce č. 7, včetně počtu PLS faktorů.

Tabulka 7. Parametry kalibračního modelu pro obsah bílkovin při IT 7 x 12,5 ms

Rovnice kalibrační přímky	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSEV	Počet PLS faktorů
$y = 914x + 1,135$	0,9139	0,439	0,933	10

Grafická závislost pro obsahu bílkovin v párcích mezi referenčním stanovením a za využití NIR spektrometrie pro spektra vybrána k validaci modelu, je znázorněna na obrázku 13. Do validace bylo použito 36 spekter.

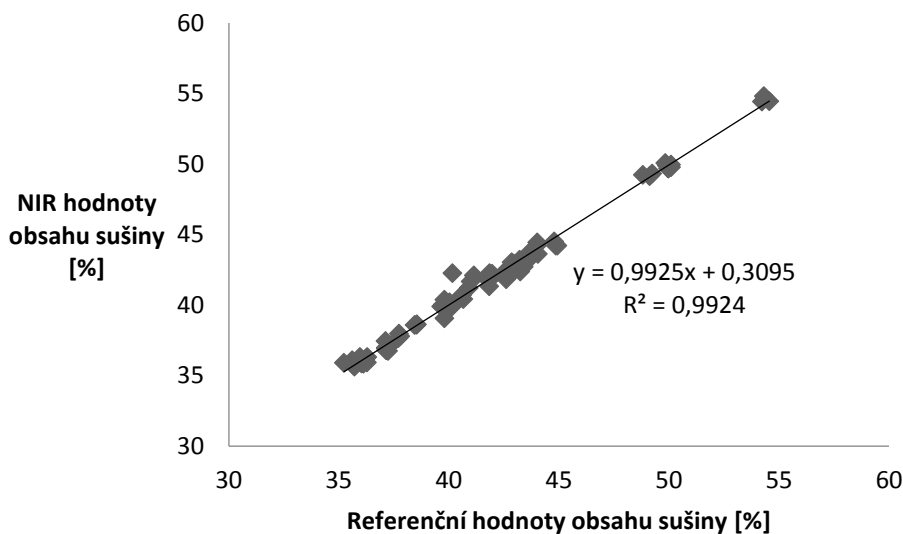


Obrázek 13. Grafická závislost validace obsahu bílkovin ve vzorcích párků při IT 7 x 12,5 ms

### 6.2.3 Kalibrační model obsahu sušiny při IT 7 x 12,5 ms

Pro vytvoření kalibračního modelu pro obsah sušiny bylo použito 83 spekter z celkového množství 110 spekter při integračním čase 7 x 12,5 ms. Tudiž 27 spekter bylo použito pro validaci sestaveného kalibračního modelu pro obsah sušiny ve vzorcích párků zakoupených v tržní síti. Na následujícím obrázku (č. 14) lze pozorovat korelaci mezi NIR

hodnotami obsahu sušiny a referenčními hodnotami pro sledovaný parametr obsahu sušiny. Získané charakteristiky kalibračního modelu jsou uvedeny v tabulce č. 8.



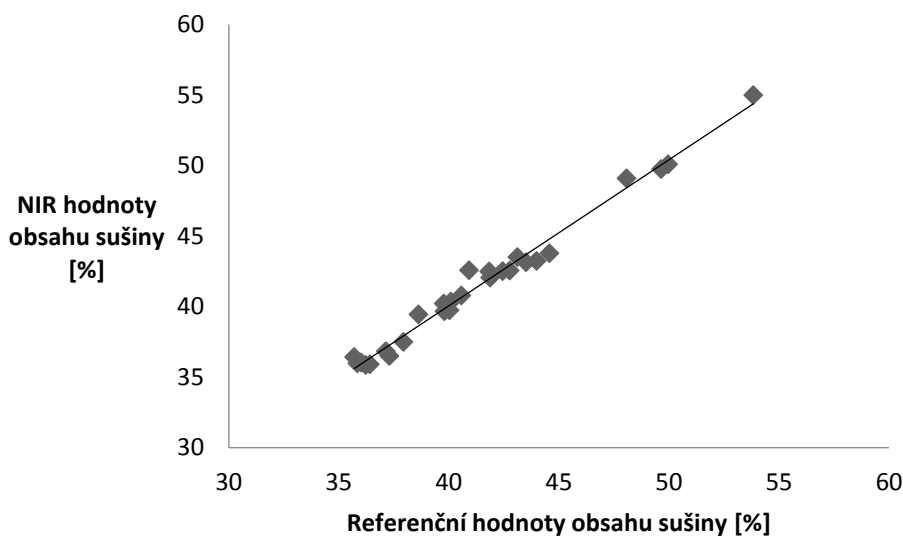
Obrázek 14. Kalibrační křivka pro obsah sušiny pro integrační čas 7 x 12,5 ms

Zobrazená grafická závislost zobrazuje rovnoměrný výskyt hodnot podél kalibrační přímky. Rozsah hodnot obsahu sušiny se pohyboval v rozmezí 35 – 55 %, přičemž průměrná hodnota pro obsah sušiny činila  $41,45 \pm 4,72$  %.

Tabulka 8. Parametry kalibračního modelu pro obsah sušiny při IT 7 x 12,5 ms

Rovnice kalibrační přímky	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSEV	Počet PLS faktorů
$y = 0,992x + 0,309$	0,9924	0,413	0,600	11

Grafická závislost pro obsahu sušiny v párcích mezi referenčním stanovením a za využití NIR spektrometrie pro spektra použita k validaci modelu, je znázorněna na obrázku 15. Do validace bylo použito 27 spekter.



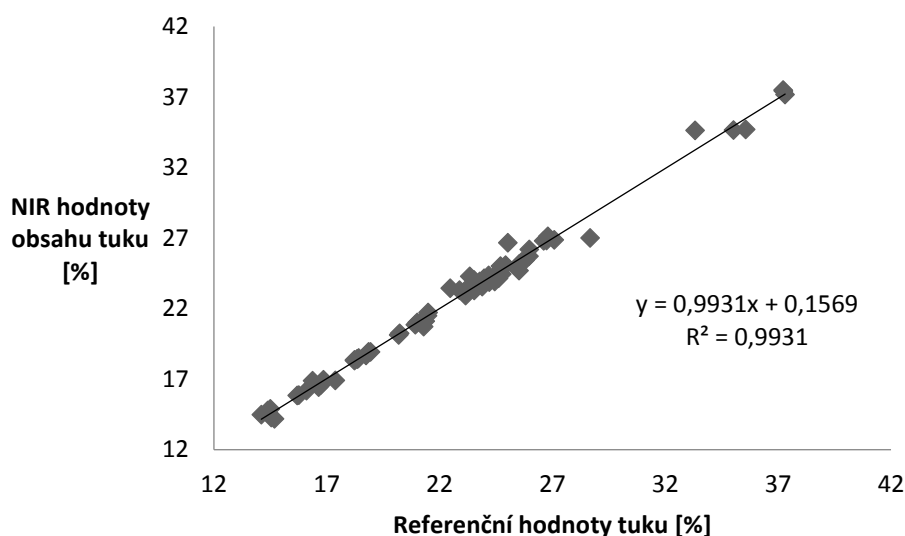
Obrázek 15. Grafická závislost validace obsahu sušiny ve vzorcích párků při IT 7 x 12,5 ms

### 6.3 Kalibrační modely s integračním časem 8 x 12,5 ms

V následující kapitole jsou uvedeny sestavené kalibrační modely sledovaných parametrů – obsahu tuku, obsahu bílkovin a obsahu sušiny. Dané modely byly sestaveny v návaznosti na provedení měření NIR spekter 28 vzorků párků zakoupených v tržní síti. V tomto případě bylo měření NIR spekter provedeno s integračním časem 8 x 12,5 ms v rozmezí vlnových délek 925 – 1375 nm.

#### 6.3.1 Kalibrační model obsahu tuku při IT 8 x 12,5 ms

Sestavení kalibračního modelu bylo provedeno na základě měření celkového počtu 108 NIR spekter. Pro sestavení kalibrační přímky bylo použito 73 spekter a dalších 35 spekter bylo použito pro validaci sestaveného modelu. Korelace mezi hodnotami stanovenými referenčním měřením a hodnotami získanými pomocí kalibračního modelu pro obsah tuku je uvedena na obrázku č. 16.



Obrázek 16. Kalibrační křivka pro obsah tuku pro integrační čas 8 x 12,5 ms

Získaná korelace je relativně podobná korelaci získané při IT 7 x 12,5 ms, která je uvedena v podkapitole 6.2.1. Data v tomto případě jsou rovnoměrněji rozložena kolem přímky, s menší kumulací hodnot kolem 25 %. Nejmenší stanovená hodnota obsahu tuku činila 14,10 %, naopak nejvyšší pak 37,31 %. Průměrná hodnota obsahu tuku byla  $22,69 \pm 5,29$  %.

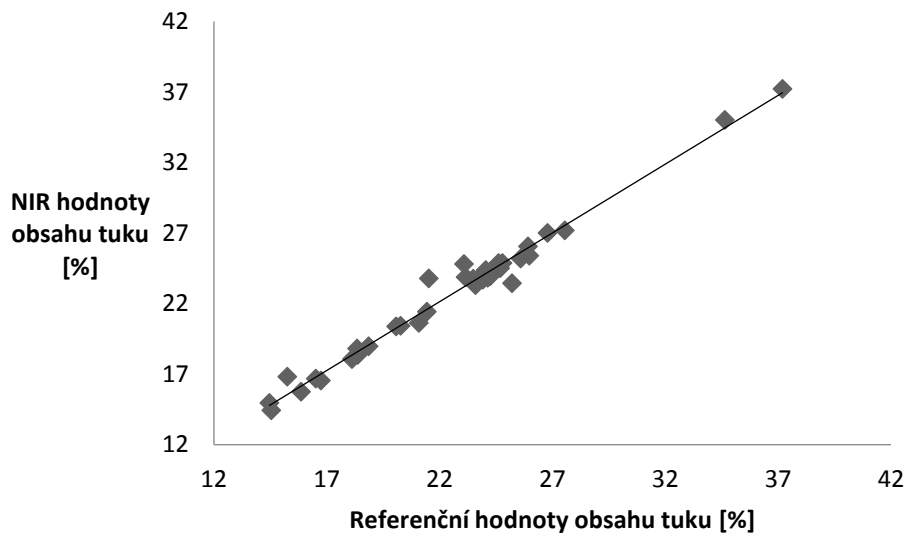
V následující tabulce č. 9 jsou uvedeny charakteristiky kalibračního modelu pro obsah tuku spolu se stanoveným počtem PLS faktorů.

Tabulka 9. Parametry kalibračního modelu pro obsah tuku při IT 8 x 12,5 ms

Rovnice kalibrační přímky	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSEV	Počet PLS faktorů
$y = 0,993x + 0,156$	0,9931	0,454	0,676	12

Grafická závislost pro obsah tuku v párcích mezi referenčním stanovením a za využití NIR spektrometrie pro spektra využita k validaci modelu, je znázorněna na obrázku 17. Do validace bylo použito 35 spekter naměřených při IT 8 x 12,5 ms.

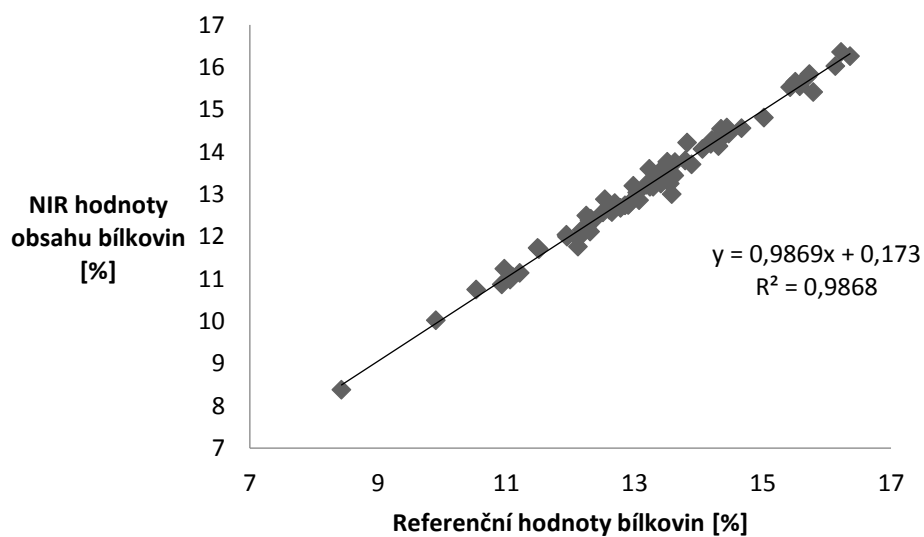




Obrázek 17. Grafická závislost validace obsahu tuku ve vzorcích párků při IT 8 x 12,5 ms

### 6.3.2 Kalibrační model obsahu bílkovin při IT 8 x 12,5 ms

K vytvoření kalibračního modelu pro obsah bílkovin ve vzorcích bylo z celkového množství 108 spekter využito 73 spekter k vytvoření korelace mezi hodnotami stanovenými referenčním stanovením a hodnotami získané na základě NIR spekter. 35 spekter bylo využito pro validaci získaného kalibračního modelu. Graf závislosti mezi danými hodnotami je zobrazen na následujícím obrázku 18.



Obrázek 18. Kalibrační křivka pro obsah bílkovin pro integrační čas 8 x 12,5 ms

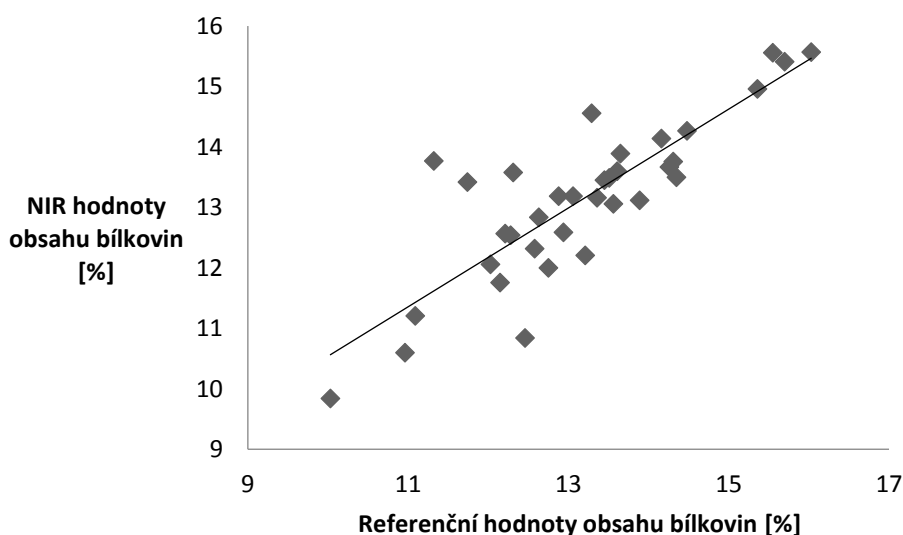
Hodnoty obsahu bílkovin byly podstatně lépe rozdělovány podél kalibrační přímky než při použití módu s integračním časem 7 x 12,5 ms. Větší množství hodnot se vyskytuje kolem hodnot cca 12 až 15 %. Nejnižší stanovená hodnota obsahu bílkovin ve vzorku činila 8,43 %. Nejvyšší hodnota naopak 16,36 %. Průměrný stanovený obsah bílkovin ve vzorcích byl  $13,19 \pm 1,46$  %.

Získané charakteristiky ze závislosti referenčních hodnot a hodnot stanovených NIR spektrometrií, spolu s PLS faktory, jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10. Parametry kalibračního modelu pro obsah bílkovin při IT 8 x 12,5 ms

Rovnice kalibrační přímky	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSEV	Počet PLS faktorů
$y = 0,986x + 0,172$	0,9868	0,173	0,753	18

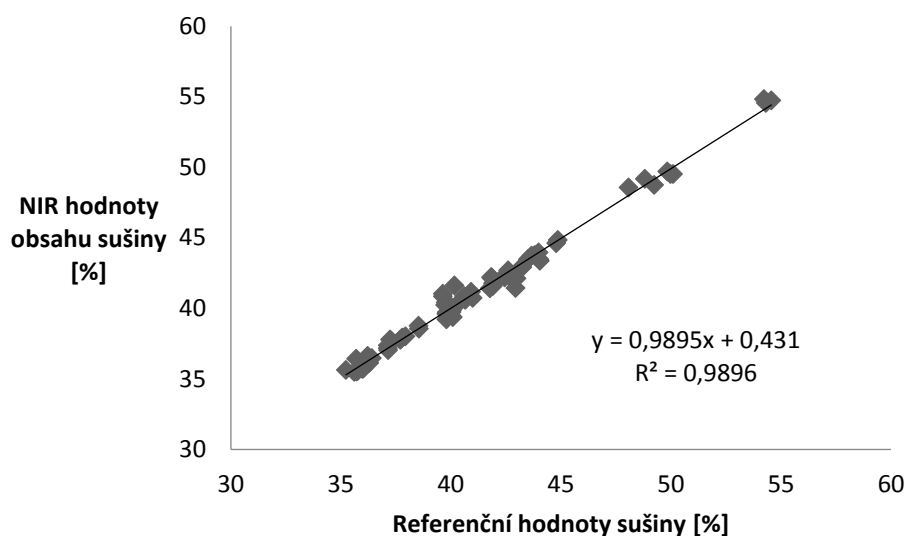
Grafická závislost pro obsah bílkovin v párcích mezi referenčním stanovením a za využití NIR spektrometrie pro spektra využita k validaci modelu, je znázorněna na obrázku 19. K validaci bylo použito 35 spekter naměřených při IT 8 x 12,5 ms.



Obrázek 19. Grafická závislost validace obsahu bílkovin ve vzorcích párků při IT 8 x 12,5 ms

### 6.3.3 Kalibrační model obsahu sušiny při IT 8 x 12,5 ms

Pro sestavení kalibračního modelu pro obsah sušiny bylo použito 73 spekter z celkového množství naměřených spekter, jejichž množství bylo 108. 27 spekter, která nebyla použita ke kalibraci, byla následně využita k ověření daného kalibračního modelu pro obsah sušiny ve vzorcích párků z tržní sítě. Na níže uvedené grafické závislosti lze pozorovat korelaci mezi NIR hodnotami obsahu sušiny a hodnotami referenčními pro sledovaný parametr obsahu sušiny.



Obrázek 20. Kalibrační křivka pro obsah sušiny pro integrační čas 8 x 12,5 ms

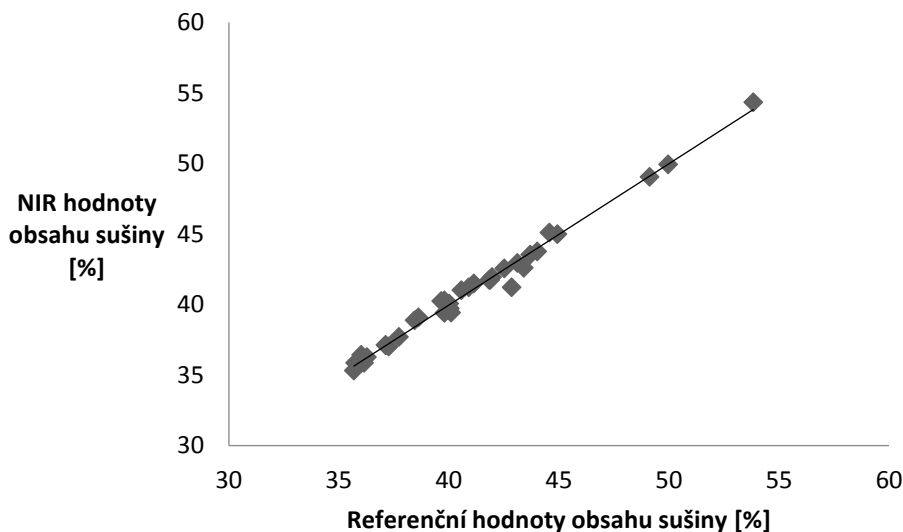
Výsledná závislost je obdobná jako korelace obsahu sušiny s integračním časem 7 x 12,5 ms. Data jsou rovnoměrně rozložena podél kalibrační přímky. Rozsah hodnot obsahu sušiny se pohyboval od nejnižší hodnoty 35,23 % k hodnotě 55,56 %, přičemž průměrná stanovená hodnota pro obsah sušiny činila  $41,10 \pm 4,47$  %.

Získané charakteristiky kalibračního modelu pro obsah sušiny jsou uvedeny v níže uvedené tabulce č. 11. Součástí tabulky je také počet stanovených PLS faktorů.

Tabulka 11. Parametry kalibračního modelu pro obsah sušiny při IT 8 x 12,5 ms

Rovnice kalibrační přímky	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSEV	Počet PLS faktorů
$y = 0,989x + 0,431$	0,9896	0,471	0,434	13

Grafická závislost pro obsahu sušiny v párcích mezi referenčním stanovením a za využití NIR spektrometrie pro spektra použita k validaci modelu je znázorněna na obrázku 21. Pro validaci bylo použito 27 spekter naměřených při IT 8 x 12,5 ms.



Obrázek 21. Grafická závislost validace obsahu sušiny ve vzorcích párků při IT 8 x 12,5 ms

#### 6.4 Porovnání výsledků kalibrací při rozdílném integračním čase

V rámci diplomové práce byly sestrojeny kalibrační modely, které jsou uvedeny v kapitole 6.3 a příslušných podkapitolách, pro stanovení obsahu tuku, bílkovin a sušiny ve vzorcích párků. Pro jednotlivé kalibrační modely výše uvedených parametrů byly získány statistické ukazatele, které jsou pro lepší orientaci shrnuty v následující tabulce 12.

Tabulka 12. Statistické ukazatele jednotlivých kalibračních modelů

Parametr	Integrační čas	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSEV	PLS
Tuk	7 x 12,5 ms	0,9905	0,542	0,683	10
	8 x 12,5 ms	0,9931	0,454	0,676	12
Bílkoviny	7 x 12,5 ms	0,9139	0,439	0,933	10
	8 x 12,5 ms	0,9868	0,173	0,753	18
Sušina	7 x 12,5 ms	0,9924	0,413	0,600	11
	8 x 12,5 ms	0,9896	0,471	0,434	13

Hodnoty v tabulce ukazují, že bylo dosaženo sestavení poměrně velmi spolehlivých kalibračních modelů pro oba integrační časy. Získané hodnoty determinačního koeficientu, které se pohybovaly v rozmezí 0,9139 – 0,9931, byly podrobeny statistickému otestování, přičemž na základě provedeného Studentova testu nebyl potvrzen statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 0,05 mezi determinačními koeficienty pro jednotlivé integrační časy. Po přijetí hypotézy definující rovnost střední hodnoty obou souborů lze předpokládat, že případný rozdíl je pouze náhodným jevem. Získané výsledky pro oba použité integrační časy vykazují relativně dobrou shodu s hodnotami získanými referenčním stanovením.

Pro stanovení parametru obsahu tuku se jeví vhodnější použití modelu s integračním časem 8 x 12,5 ms. Hodnota determinačního koeficientu je v tomto případě vyšší a také hodnoty střední kvadratické chyby kalibrace jsou nižší, což poukazuje na robustní kalibrační model. Model byl posouzen také na základě porovnání křivek kalibrace a validace pro oba integrační časy. Tato porovnání jsou uvedena v Přílohách I a II.

Kalibrace s integračním časem 8 x 12,5 ms vyazuje také vhodnost použití pro stanovení obsahu bílkovin ve vybraných vzorcích. Hodnota determinačního koeficientu byla vyšší než u modelu kalibrace s integračním časem 7 x 12,5 ms. Právě v tomto případě byl stanoven odlišný koeficient oproti dalším stanovením, kdy jeho hodnota byla výrazněji nižší. Pro použití módu s IT 8 x 12,5 nasvědčují také hodnoty RMSEC a RMSEV, které jsou podstatně nižší. Opět bylo vyobrazeno porovnání kalibrační a validační přímky pro jednotlivé integrační časy (Přílohy III a IV).

Obsah sušiny představuje parametr, pro jehož stanovení může být vhodnější použit model měření s integračním časem 7 x 12,5 ms. V daném módu vyazuje měření vyšší hodnotu determinačního koeficientu, a to 0,9924. Porovnání mezi křivkami kalibrace a validace (Přílohy V a VI) zobrazuje větší rozestup při IT 7 x 12,5 ms. Hodnota střední kvadratické chyby kalibrace je nižší právě při použití zmíněného módu, kdy RMSEC=0,413.

Spolehlivost a robustnost sestavených kalibračních modelů pro oba integrační časy potvrzují také relativně nízké hodnoty střední kvadratické chyby kalibrace a střední kvadratické validace, přičemž mezi nimi není významnější rozdíl.

V oblasti masa a masných výrobků byla provedena řada studií za využití infračervené spektrometrie, přičemž byla stanovována celá řada parametrů v masě a různých masných výrobcích. [88, 89, 90, 91]

Bylo provedeno například stanovení obsahu tuku, vlhkosti a bílkovin u vepřových klobás, přičemž byly připraveny vzorky dvou různých struktur – mleté a homogenizované. Pro tato měření byla zvolena vlnová délka 515 – 1650 nm. U sestaveného kalibračního modelu pro mleté maso bylo dosaženo hodnot koeficientu determinace 0,98 pro tuk, 0,98 pro vlhkost a 0,93 pro obsah bílkovin. U homogenizovaného masa z klobás byla hodnota  $R^2$  rovna 0,99 pro tuk, 0,98 pro vlhkost a 0,93 pro obsah bílkovin. V rámci diplomové práce bylo u jednotlivých parametrů dosaženo stejných či dokonce vyšších hodnot  $R^2$ , což potvrzuje sestavení spolehlivých kalibračních modelů. [98]

Další studie zkoumala využití NIR spektroskopie k ověřování kvality již hotových produktů. Pro účely této studie byly vybrány vzorky klobás, které byly před samotnou analýzou buďto neporušené nebo homogenizovány. Hodnota determinačního koeficientu se pro obsah tuku, vlhkosti a bílkovin u neporušovaných produktů pohybovala v rozmezí 0,97 – 0,98. U homogenizovaných vzorků bylo dosaženo hodnot  $R^2$  0,97 – 0,99 pro dané parametry. V rámci této studie bylo uvažováno nad využitím NIR spektrometrie k zajištění kontrol kvality ve všech fázích masné výroby – ať už se jedná o fázi skladování či distribuce a marketingu. Porovnání hodnot z předmětné studie a hodnot získaných v rámci diplomové práce, prokazuje opět poměrně vysokou shodu, kdy získané  $R^2$  dosahovalo stejně vysoké, nebo dokonce vyšší hodnoty. Koeficient determinace byl nižší pouze u stanovení obsahu bílkovin při integračním čase 7 x 12,5 ms, kdy hodnota  $R^2$  činila 0,9139. [99]

Ritthiruangdej et al. se zabývali využitím NIR spektroskopie ke stanovení chemického složení uzených vepřových klobás s ohledem na přítomnost plastového obalu a nehomogenní struktury vzorku. Pro měření byl zvolen rozsah vlnových délek v rozmezí 800 – 2500 nm. Při stanovení obsahu bílkovin byly získány hodnoty determinačního koeficientu  $R^2$  0,94 za přítomnosti plastového obalu a 0,97 bez něj. Dále bylo provedeno sestavení kalibračního modelu pro obsah tuku s dosaženými výsledky  $R^2$  0,91 a 0,94 (s obalem/bez obalu). V této diplomové práci byly získány hodnoty  $R^2$  pro obsah bílkovin 0,9139 a 0,9868 a pro obsah tuku 0,9905 a 0,9931 při různých integračních časech.

Porovnání výsledných hodnot s citovanou literaturou ukazuje na dosažení robustních kalibračních modelů. [100]

Porovnání výsledků dosažených v rámci diplomové práce, s hodnotami uváděnými autory ve výše zmíněných pracích, potvrzuje sestavení spolehlivých a robustních kalibračních modelů pro stanovení obsahu tuku, bílkovin a sušiny ve vzorcích párků, a to i přes znatelně menší počet analyzovaných vzorků. Toto lze usuzovat na základě vysokých hodnot determinačního koeficientu a nízkých hodnot středních kvadratických chyb kalibrace a validace, jejichž hodnoty jsou navzájem poměrně blízké.

## ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla sestavena databáze NIR spekter pro 28 vzorků párků zakoupených v tržní síti. Po provedení chemické analýzy těchto vzorků byly určeny referenční hodnoty pro sledované parametry – obsah tuku, bílkovin a sušiny. Na základě těchto hodnot a získaných spekter byly vytvořeny kalibrační modely pro jednotlivé parametry. Dané kalibrační modely by dále bylo možné rozšiřovat škálou dalších vzorků s širším rozmezím obsahu tuku a bílkovin.

Sestrojené kalibrační modely byly posouzeny z hlediska jejich spolehlivosti a tedy i případného využití této metody v praxi. Kladen důraz byl zejména na porovnání modelů za použití módů měření při různých integračních časech, a to 7 x 12,5 ms a 8 x 12,5 ms. Velmi dobrá spolehlivost se ukázala u obou módů měření, avšak jako výhodnější pro stanovení obsahu tuku a bílkovin byl zvolen mód při IT 8 x 12,5 ms. Při stanovení obsahu sušiny se jevil jako spolehlivější mód při IT 7 x 12,5 ms. V provozních podmínkách je však výhodné užívat pouze jeden integrační čas, kdy jsou stanovovány hodnoty obsahu daných parametrů současně.

Na základě skutečností, že infračervená spektroskopie patří mezi nedestruktivní metody a stanovení za jejího využití je velmi rychlé a komplexní, kdy je možno stanovit několik analyzovaných parametrů současně, se nabízí jako vhodná volba při výběru metody stanovení.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] VALNÍČEK, B. *Nová spektroskopie*. p. 55 - 58. In: FOLTA, J. (ed): Dějiny vědy a techniky 14. - Rozpravy NTM 200, Národní technické muzeum, Praha, **2006**. 153 p.
- [2] HART-DAVIS, A. *Věda, Obrazový průvodce vědy a techniky*, Euromedia Group, k.s., **2011**, 512 p. ISBN 978-80-242-3078-8.
- [3] PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. **2003**, 14(2), 198-219. ISSN 0103-5053.
- [4] Frederick William Herschel. Encyclopædia Britannica [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/William-Herschel#/media/1/263824/11569>
- [5] Optické hranoly. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/442-opticke-hranoly>
- [6] WILLIAMS, P. C., NORRIS, K. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, **1990**, 330 p. ISBN: 0-913250-49-X
- [7] CENTNER V. *Near infrared spectroscopy (NIR) and his technology application* *CHEMagazín*, **1999**, 1 (9): 22 – 23.
- [8] MILATA, V. *Spektrálne metódy v chémii*. 1. vydání. Bratislava: STU, **2004**, 327 s. ISBN 80-227-2049-6.
- [9] KLOUDA, P. *Moderní analytické metody*. 2., upr. a dopl. vydání. Ostrava: Pavel Klouda, **2003**. ISBN 80-863-6907-2.
- [10] VODRÁŽKA, Z. *Fyzikální chemie pro biologické vědy*. 1. vydání. Praha: Academia, **1982**, 565 s. ISBN 104-21-852.
- [11] NOVOTNÁ, M. *Vznik a registrace spekter v infračervené a blízké infračervené oblasti*, Letní škola NIR, MU Brno, **1998**. 5 - 18.

- [12] BIEN, R. *NIR spektroskopie v systému hodnocení jakosti potravin a krmiv*, NIR instrumentace Perten Instruments. **2006**. [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: [www.graphix.sk/webhosting/bezpecnostpotravin/index.php/.../22](http://www.graphix.sk/webhosting/bezpecnostpotravin/index.php/.../22).
- [13] KANIA, P. *INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE*, VŠCHT Praha, **2007** [online]. [cit. 2020-04-23] Dostupné z: <https://uanlch.vscht.cz/files/uzel/0012437/0007~M9f1dAYA.pdf?redirected>
- [14] NĚMCOVÁ, I., RYCHLOVSKÝ P., ČERMÁKOVÁ L. *Spektrometrické analytické metody*. 2. vyd. Praha: Karolinum, **2004**. ISBN 80-246-0776-X.
- [15] KÖSSLER, I. *Infračervená spektroskopie v chemické analýze*. SNTL, Praha, **1960**. 196 p.
- [16] HEISE, H., H. SIESLER, ed. a Y. OZAKI, ed., S. KAWATA, ed. *Near-Infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications*. 1. Weinheim (Německo): WILEY-VCH Verlag GmbH, **2002**. ISBN 3-527-30149-6.
- [17] JENSEN, P. An introduction to the theory of local mode vibrations. *Molecular Physics*. **2000**, 98(17), 1253-1285. [online]. [cit. 2020-03-21]. ISSN 0026-8976. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/002689700413532>
- [18] ATKINS, P., J. DE PAULA. *Atkins' Physical chemistry*. 8th ed. New York: Oxford University Press, **2006**. ISBN 01-987-0072-5.
- [19] VOLKA, K., et al. *Analytická chemie I*, vysokoškolská skripta, VŠCHT, Praha, **1997**. 228 p., ISBN 80-7080-245-6.
- [20] HORÁK, M., VÍTEK A. *Zpracování a interpretace vibračních spekter*. 1. vydání. Praha: SNTL, **1980**. 430 s. ISBN 04-605-80.
- [21] KOVÁČ, Š., ILAVSKÝ, D., J. LEŠKO. *Métody kontroly technologických procesov: Spektrální metody v organické chemii a technologii*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, **1987**. 461 s. ISBN 063-555-87.
- [22] MILDE, D. *Spektrální metody*. [online]. [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z: <http://aix-lin.upol.cz/~milde/IM-uvod.pdf>.

- [23] BERGLES, E. *White Paper: NIR Spectral Engines*, **2008**. [online]. [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z: <http://www.bayspec.com/userfiles/file/BaySpec%20White%20Paper%20%20NIR%20Spectral%20Engines.pdf>.
- [24] MCMURRY, J. *Organic chemistry*. Ninth edition. Boston, MA, USA: Cengage Learning, **2016**. ISBN 978-1305080485.
- [25] OZAKI, Y., MORITA, S., DU, Y. *Spectral analysis*, 47 – 72. In: SIESLER, H. W., OZAKI, Y., KAWATA, S., HEISE, H. M., McCLURE, W. F., CHRISTY, A. (ed): *Near-Infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications*, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, **2007**. 361 p., ISBN 3-527-30149-6.
- [26] MANLEY, M., DOWNEY, G., BAETEN, V. *Spectroscopic Technique: Nearinfrared (NIR) Spectroscopy*, 65 – 99. In: SUN, D. W. (ed): *Modern Techniques for Food Authentication*, Elsevier Inc., **2008**. 720 p., ISBN: 978-0-12-374085-4.
- [27] BENITO, J. M. T., OJEDA, B. C., ROJAS, S. F. *Process Analytical Chemistry: Applications of Near Infrared Spectrometry in Environmental and Food Analysis: An Overview*. *Applied Spectroscopy Reviews*, **2008**. 43 (5), 452 – 484, doi: 10.1080/05704920802031382.
- [28] WEHLING, R. L. *Infrared Spectroscopy*, 413 - 424. In: NIELSEN, S. S.: *Food Analysis*, 4th ed., Cluwer Academic, Plenum Published, New York, **2010**. 550 p., ISBN 978-1-4419-1477-4.
- [29] KLEIN, R. D. *Organic Chemistry*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, **2014**. 1392 p., ISBN 1118795709.
- [30] Introduction to Fourier Transform Infrared Spectroscopy. In: [Http://www.nicoletcz.cz](http://www.nicoletcz.cz). Madison, USA: Thermo Electron Scientific Instruments LLC, **2005**. [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: Thermo Electron Corporation
- [31] HONNER, M. *Infračervená Spektrometrie*, Skripta 3. kapitola, Výzkumné centrum západočeské univerzity v Plzni, **2008**. [online]. [cit. 2020-03-20]: Dostupné z: [http://tftp.zcu.cz/files/pdf/skripta\\_kap3\\_irspektrometrie.pdf](http://tftp.zcu.cz/files/pdf/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf).

- [32] OPEKAR, F., JELÍNEK I., RYCHLOVSKÝ P., PLZÁK Z. *Základní analytická chemie*. 1. vydání. Praha: Karolinum, **2002**. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-246-0553-8.
- [33] POREP, J., KAMMERER D., CARLE R. On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production. *Trends in Food Science & Technology*, **2015**. 46(2), 211-230 [online]. [cit. 2020-03-12]. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224415002174>
- [34] STEINHAUSER, L. a kol. *Hygiena a technologie masa*. 1. vydání. Brno: LAST, **1995**. 644 s. ISBN 80-900260-4-4.
- [35] *Vyhláška č. 69/2016 Sb. o požadavcích na maso, masné výrobky, produkty rybolovu a akvakultury a výrobky z nich, vejce a výrobky z nich*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-69>
- [36] KADLEC, P. et al. *Principy potravinářských technologií*, kapitola 4.6. a 4.7, 1. vydání. VŠCHT Praha, **2002**. 536 s. ISBN 80-7080-510-2
- [37] Katalog výsekových a výrobních mas - vepřové a hovězí maso. Český svaz zpracovatelů masa, **2004**, 40 s.
- [38] INGR, I. *Produkce a zpracování masa*. 2. vydání. Brno: Mendelova univerzita v Brně, **2011**. 202 s. ISBN 978-80-7375-510-2.
- [39] PIPEK, P. *Základy technologie masa*. 1. vydání. Vyškov: Vysoká vojenská škola pozemního vojska, **1998**. 100 s. ISBN 80-7231-010-0.
- [40] KADLEC, P., MELZOCH, K., VOLDŘICH, M. a kol. *Technologie potravin – Přehled tradičních potravinářských výrob*. 1. vydání. Ostrava: KEY Publishing, **2012**. 569 s. ISBN 978-80-7418-145-0.
- [41] LÁT, J. a spol. *Technologie masa*. 2. přepr. a dopl. vydání. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, **1984**. 664 s. ISBN 04-846-84
- [42] KADLEC, P., MELZOCH, K., VOLDŘICH, M. *Co byste měli vědět o výrobě potravin? technologie potravin*. 1. vydání. Ostrava: Key Publishing, **2009**. 536 s. ISBN 978-80-7418-051-4.

- [43] DRDÁK, M., STUDNICKÝ, J., MÓROVÁ, E., KAROVIČOVÁ, J. *Základy potravinářských technologií*. 1. vydání. Bratislava: Malé centrum, **1996**. 512 s. ISBN 80-967064-1-1.
- [44] MILLS, E. *Additives to automation in the meat industry*. Encyclopedia of Meat Sciences, **2014**, 1, 1-6.
- [45] MAURITTI, L. R. B., BRAGAGNOLO, N. *Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review*. Food Research International, **2017**, 94, 90-100.
- [46] ČEPIČKA, J. a kol. *Obecná potravinářská technologie*. 1. vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, **1995**. 246 s. ISBN 80-7080-239-1.
- [47] KAMENÍK, J. *Trvanlivé masné výrobky*. 1. vydání. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, **2011**. 248 s. ISBN 978-80-7305-106-8.
- [48] TOLDRÁ, F. Smoking. *Handbook of Meat Processing*, Wiley-Blackwell, **2010**. 231-245.
- [49] LEDESMA, E., RENDUELES, M., DÍAZ, M. Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, **2016**. 60, 64-87.
- [50] POHLMANN, M., HITZEL, A., SCHWÄGELE, F., SPEER, K., JÍRA, W. PAH Contents in hot smoked meat products influence of different smoke generation methods on the contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances. *Food Control*, **2013**. 1, 136-144.
- [51] LAGIN, L. *Technológia mäsa II.: Spracovanie mäsa*. 2. vydanie. Nitra: SPU, **2008**. 148 s. ISBN 978-80-552-0034-7
- [52] JENSEN, W. K., DEVINE, C., DIKEMAN, M. *Encyclopedia of meat sciences, 2 volume, 1st edition*. Elsevier, **2004**. 499 s. ISBN 0-12-464970-X
- [53] HANUŠOVÁ, K., DOBIÁŠ, J. Balení masa a masných výrobků v modifikované atmosféře, *Maso*, č. 4, **2009**. s. 13

- [54] BALABIN, R. M., SAFIEVA, Z. R., LOMAKINA, I. E. Comparison of linear and nonlinear calibration models based on near infrared (NIR) spectroscopy data for gasoline properties prediction. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **2007**. 88 (2), 183 – 188, doi:10.1016/j.chemolab.2007.04.006.
- [55] ADAM, M., DOBIÁŠ, P., BAJEROVÁ, P., VENTURA, K. Comparison of various methods for determination of water in white yoghurts, *Food Chemistry*, **2009**. 115(3), 1069-1073, doi:10.1016/j.foodchem.2008.12.027.
- [56] HELL, J., PRÜCKLER, M., DANNER, L., HENNIGES, U., APPRICH, S., ROSENAU, T., BÖHMDORFER, S. A comparison between near-infrared (NIR) and mid-infrared (ATR-FTIR) spectroscopy for the multivariate determination of compositional properties in wheat bran samples. *Food Control*, **2016**. 60, 365-369, doi:10.1016/j.foodcont.2015.08.003.
- [57] BLAKEY, J., van ROOYEN, Z. Non-destructive measurement of moisture content using handheld NIR. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, **2011**. 34, 9-12.
- [58] MAZUREK, S., SZOSTAK, R., KITA, A. Application of infrared reflection and Raman spectroscopy for quantitative determination of fat in potato chips. *Journal of Molecular Structure*, **2016**. doi:10.1016/j.molstruc.2016.01.064.
- [59] LUŽOVÁ, T., ŠUSTOVÁ, K., KUČTÍK, J., MLČEK, J., VORLOVÁ, L., SUMCZYNSKI, D. Determination of fatty acid content in sheep milk by means of near infrared spectroscopy. *Acta Veterinaria Brno*, **2014**. 83, 27 – 34, <http://dx.doi.org/10.2754/avb201483S10S27>.
- [60] NÚÑEZ-SÁNCHEZ, N., MARTÍNEZ-MARÍN, A. L., POLVILLON O., FERNÁNDEZ-CABANÁS, V. M., CARRIZOSA, J., URRUTIA, B., SERRADILLA, J. M. Near Infrared Spectroscopy (NIRS) for the determination of the milk fat fatty acid profile of goats. *Food Chemistry*, **2016**. 190, 244-252, doi:10.1016/j.foodchem.2015.05.083.
- [61] LAROUSSE-MEZGHANI, S., VANLOOT, P., MOLINET, J., DUPUY, N., HAMMAMI, M., GRATI-KAMOUN, N., ARTAUD, J. Authentication of Tunisian virgin olive oils by chemometric analysis of fatty acid compositions and NIR spectra.

Comparison with Maghrebian and French virgin olive oils. *Food Chemistry*, **2015**. 173, 122-132, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.002.

[62] ZOMEÑO, C., JUSTE, V., HERNÁNDEZ, P. Application of NIRS for predicting fatty acids in intramuscular fat of rabbit. *Meat Science*, **2012**. 91(2), 155-159, doi:10.1016/j.meatsci.2012.01.009.

[63] GONZÁLEZ-MARTÍN, I., HERNÁNDEZ-HIERRO, J. M., REVILLA, I., VIVAR-QUINTANA, A., ORTEGA, I. L. The mineral composition (Ca, P, Mg, K, Na) in cheeses (cow's, ewe's and goat's) with different ripening times using near infrared spectroscopy with a fibre-optic probe. *Food Chemistry*, **2011**. 127(1), 147-152, doi:10.1016/j.foodchem.2010.12.114.

[64] OSBORNE, B. G. Near infrared spectroscopic studies of starch and water in some processed cereal flours. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, **1996**. 4, 195-200, <http://dx.doi.org/10.1255/jnirs.90>.

[65] SCHMIDT, J., GERGELY, S., SCHÖNLECHNER, R., GRAUSGRUBER, H., TÖMÖSKÖZI, S., SALGÓ, A., BERGHOFER, E. Comparison of Different Types of NIR Instruments in Ability to Measure  $\beta$ -Glucan Content in Naked Barley. *Cereal Chemistry*, **2009**. 86(4), 398-404, <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-86-4-0398>.

[66] ENGELHARD, S., LÖHMANNSRÖBEN, H. G., SCHAEEL, F. Quantifying Ethanol Content of Beer Using Interpretive Near-Infrared Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, **2004**. 58(10), 1205-1209, doi: 10.1366/0003702042336000.

[67] CASTRITIUS, S., KRON, A., SCHÄFER, T. RÄDLE, M., HARMS, D. Determination of Alcohol and Extract Concentration in Beer Samples Using a Combined Method of Near-Infrared (NIR) Spectroscopy and Refractometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2010**. 58(24), 12634-12641, doi: 10.1021/jf1030604.

[68] NORDON, A., MILLS, A., BURN, R. T., CUSICK, F. M., LITTLEJOHN, D. Comparison of non-invasive NIR and Raman spectrometries for determination of alcohol content of spirits. *Analytica Chimica Acta*, **2005**. 548(1), 148-158, doi:10.1016/j.aca.2005.05.067.

- [69] MARTELO-VIDAL, M. J., VÁZQUEZ, M. Determination of polyphenolic compounds of red wines by UV–VIS–NIR spectroscopy and chemometrics tools. *Food Chemistry*, **2014**. 158, 28-34, doi:10.1016/j.foodchem.2014.02.080.
- [70] SINIJA, V. R., MISHRA, H. N. FT-NIR spectroscopy for caffeine estimation in instant green tea powder and granules. *LWT-Food Science and Technology*, **2009**. 42(5), 998-1002, doi:10.1016/j.lwt.2008.12.013.
- [71] ZHANG., X., LI, W., YIN, B., CHEN, W., KELLY, P. D., WANG, X., ZHENG, K., DU, Y. Improvement of near infrared spectroscopic (NIRS) analysis of caffeine in roasted Arabica coffee by variable selection method of stability competitive adaptive reweighted sampling (SCARS). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **2013**. 114, 350 – 356, doi: 10.1016/j.saa.2013.05.053.
- [72] SHAN, J., SUZUKI, T., SUHANDY, D., OGAWA, Y., KONDO, N. Chlorogenic acid (CGA) determination in roasted coffee beans by Near Infrared (NIR) spectroscopy. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, **2014**. 7(4), 139-142, doi:10.1016/j.eaef.2014.08.003.
- [73] BERTONE, E., VENTURELLO, A., GIRAUDO, A., PELLEGRINO, G., GEOBALDO, F. Simultaneous determination by NIR spectroscopy of the roasting degree and Arabica/Robusta ratio in roasted and ground coffee. *Food Control*, **2015**. 59(1), 683 – 689, doi:10.1016/j.foodcont.2015.06.055.
- [74] BARBIN, D. F., SOUZA MADUREIRA FELICIO, A. L., SUN, D-W, NIXDORF, S. L., HIROOKA, E. Y. Application of infrared spectral techniques on quality and compositional attributes of coffee: An overview, *Food Research International*, **2014**. 61, 23 – 32, doi:10.1016/j.foodres.2014.01.005.
- [75] VENEL, C., MULLEN, A.C., DOWNEY, G., TROY, D.J. Prediction of tenderness and other quality attributes of beef by near infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1100 nm; further studies. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, **2001**. 9(3), s. 185-198, doi: <http://dx.doi.org/10.1255/jnirs.305>.
- [76] LIU, Y.L., LYON, B.G., WINDHAM, W.R., REALINI, C.E., PRINGLE, T.D.D., DUCKETT, S.D. Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by



visible and near infrared reflectance spectroscopy. A feasibility study. *Meat Science*, **2003**. 65, s. 45-54, doi:10.1016/S0309-1740(02)00328-5.

[77] ANDRÉS, S., MURRAY, I., NAVAJAS, E. A., FISCHER, A. V., LAMBE, N. R., BÜNGER, L. Prediction of sensory characteristics of lamb meat samples by near infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science*, **2007**. 76(3), 509-516, doi:10.1016/j.meatsci.2007.01.011.

[78] KAMRUZZAMAN, M., EI MASRY, G., SUN, D. W., ALLEN, P. Non-destructive assessment of instrumental and sensory tenderness of lamb meat using NIR hyperspectral imaging. *Food Chemistry*, **2013**. 141(1), 389-396, doi:10.1016/j.foodchem.2013.02.094.

[79] MAJA, P., MARTIN, Š., DEJAN, Š., MARJETA, Č. P. Application of near infrared spectroscopy to predict chemical composition of meat and meat products. *Tehnologija Mesa*, **2010**. 51(2), 133-142.

[80] PROCHÁZKOVÁ, Z., DRAČKOVÁ, M., SALÁKOVÁ, A., GALLAS, L., POSPIECH, M., VORLOVÁ, L. BUCHTOVÁ, H. Application of FT NIR Spectroscopy in the Determination of Basic Physical and Chemical Properties of Sausages. *Acta Veterinaria Brno*, **2010**. 79(9), 101-106, <http://dx.doi.org/10.2754/avb201079S9S101>.

[81] GRASSI, S., AMIGO, J. M., LYNDGAARD, C. B., FOSCHINO, R., CASIRAGHI, E. Beer fermentation: monitoring of process parameters by FT-NIR and multivariate data analysis. *Food Chemistry*, **2014**. 155, 279-286, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.060.

[82] BÁZÁR, G., ROMVÁRI, R., SZABÓ, A., SOMOGYI, T., ÉLES, V., TSENKOVA, R. NIR detection of honey adulteration reveals differences in water spectral pattern. *Food Chemistry*, **2016**. 194, 873-880, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.08.092.

[83] DVOŘÁK, L., MLČEK, J., ŠUSTOVÁ, K. Comparison of FT-NIR Spectroscopy and ELISA for Detection of Adulteration of Goat Cheeses with Cow's Milk. *Journal of AOAC International*, **2016**. 99 (1): 180-181, <http://dx.doi.org/10.5740/jaoacint.15-0190>.

[84] ALAMPRESE, C., CASALE, M., SINELLI, N. LANTERI, S. CASIRAGHI, E. Detection of minced beef adulteration with turkey meat by UV-VIS, NIR and MIR spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, **2013**. 53(1), 225-232, doi:10.1016/j.lwt.2013.01.027.

- [85] HUANG, Y., MIN, S., DUAN, J., WU, L., LI, Q. Identification of additive components in powdered milk by NIR imaging methods. *Food Chemistry*, **2014**. 145, 278-283, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.116.
- [86] ELMASRY, G., SUN, D., ALLEN, P. Near – infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef. *Journal of Food Engineering*, **2012**. 110(1), 127 – 140.
- [87] BRØNDUM, J. et al. Warmed-over flavour in porcine meat – a combined spectroscopic, sensory and chemometric study. *Meat science*, **2000**. 54(1), 83 – 95.
- [88] MLČEK, J. et al. Možnost využití spektroskopie NIR v masném průmyslu. *Chemické Listy*, **2010**. 104, 855 – 860.
- [89] MLČEK, J., SIMEONOVÁ, J. Application of FT NIR spectroscopy in the determination of basic chemical composition of pork and beef. *Czech Journal of Animal Science*, **2006**. 51(8), 361-368.
- [90] DAMEZ, J. L., CLERJON, S. Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat science*, **2008**. 80(1), 132 – 149.
- [91] ZIADI, A. et al. Visible and near-infrared light transmission: A hybrid imaging method for non-destructive meat quality evaluation. *Infrared Physics and Technology*, **2012**. 55(5), 412 – 420.
- [92] DAMEZ, J. L., CLERJON, S. Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves. *Meat science*, **2013**. 95(4), 879 – 896.
- [93] COLLELL, C., GOU, P., PICOUET, P., ARNAU, J., COMAPOSADA, J. Feasibility of near-infrared spectroscopy to predict *aw* and moisture and NaCl contents of fermented pork sausages. *Meat Science*, **2010**. 85(2), 325-330, doi:10.1016/j.meatsci.2010.01.022.
- [94] PREVOLNIK, M., M. ČANDEK-POTOKAR, D. ŠKORJANC, Š. VELIKONJABOLTA, M. ŠKRLEP, T. ŽNIDARŠIČ, BABNIK, D. Predicting Intramuscular Fat Content in Pork and Beef by near Infrared Spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, **2017**. 13(2), 77-85. ISSN 0967-0335. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1255/jnirs.460>

- [95] GEESINK, G.H, F.H SCHREUTELKAMP, R FRANKHUIZEN, H.W VEDDER, N.M FABER, R.W KRANEN, GERRITZEN, M.A. Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra. *Meat Science*, **2003**. 65(1), 661-668. ISSN 03091740. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174002002693>
- [96] ELMASRY, G., SUN, D., ALLEN, P. Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIR hyperspectral imaging. *Food Research International*, **2011**. 44(9), 2624-2633. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996911002870>
- [97] TALENS, P., MORA, L., MORSY, N., BARBIN, D., ELMASRY, G., SUN, D. Prediction of water and protein contents and quality classification of Spanish cooked ham using NIR hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering*, **2013**. 117(3), 272-280. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877413001271>
- [98] ORTIZ-SOMOVILLA, V., ESPAÑA-ESPAÑA, F., GAITÁN-JURADO, A.J., PÉREZ-APARICIO, J., DE PEDRO-SANZ, E. J. Proximate analysis of homogenized and mnced mass od pork sausages by NIRS. *Food chemistry*, **2007**. 101(3), 1031-1040, doi: 10.1016/j.foodchem.2006.02.058
- [99] GAITÁN-JURADO, A.J., ORTIZ-SOMOVILLA, V., ESPAÑA-ESPAÑA, F., PÉREZ-APARICIO, J., DE PEDRO-SANZ, E. J. Quantitative analysis of pork dry-cured sausages to quality control by NIR spectroscopy. *Meat science*, **2008**. 78(4), 391-399, doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.005
- [100] RITTHIRUANGDEJ, P., RITTHIRON, R., SHINZAWA, H., OZAKI, Y. Non-destructive and rapid analysis of chemical compositions in Thai steamed pork sausages by near-infrared spectroscopy. *Food chemistry*, **2011**. 129(2), 684-692, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.04.110

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\varepsilon$	molární absorpční koeficient
A	Absorbance
c	Koncentrace vzorku
$d^2A$	Druhá derivace spektra A
$d^2\lambda$	Druhá derivace vlnové délky
DTGS	Deuterovaný triglycinsulfát
$E_v$	Vibrační energie
FIR	Vzdálená infračervená oblast – far infrared
$f_{pr}$	Přepočítávací faktor (6,25)
$f_t$	Titrační faktor
FT-IR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
$f_z$	Poměrový zřed'ovací faktor
h	Planckova konstanta
I	Energie, která prošla vzorkem látky
$I_0$	Energie dopadající na vzorek
IR	Infračervená – infrared
IT	Integrační čas
l	Tloušťka vrstvy vzorku
MA	Modifikovaná atmosféra
MIR	Střední infračervená oblast – mid infrared
MO	Mikroorganismus
ms	Milisekunda
MV	Masný výrobek
n	Vibrační kvantové číslo
NIR	Blízká infračervená oblast – near infrared

---

nm	Nanometr
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PLS	Metoda částečně nejmenších čtverců - partial least squares
R <sup>2</sup>	Koeficient determinace
RMSEC	Střední kvadratická chyba kalibrace – root mean square error of calibration
RMSEV	Střední kvadratická chyba validace – root mean square error of validation
TOMV	Tepelně opracovaný masný výrobek
T	Transmittance
TGS	Triglycinsulfát
v	Frekvence vibrující molekuly

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1. Frederick William Herschel (vlevo), rozklad světla na spektrum (vpravo).....	11
Obrázek 2. Energetické hladiny a vibrační přechody anharmonického oscilátoru.....	14
Obrázek 3. Valenční a defrmační vibrace skupiny CH <sub>2</sub> .....	14
Obrázek 4. Michelsonův interferometr .....	18
Obrázek 5. Schéma výroby drobných tepelně opracovaných MV - párků.....	27
Obrázek 6. Infračervený spektrometr.....	40
Obrázek 7. Záznam NIR spektra vzorku párku při IT 7 x 12,5 ms .....	44
Obrázek 8. Záznam NIR spektra vzorku párku po standardizaci při IT 7 x 12,5 ms .....	45
Obrázek 9. Grafická závislost hodnoty funkce PRESS na počtu PLS faktorů pro kalibrační model tuku s IT 7 x 12,5 ms.....	46
Obrázek 10. Kalibrační křivka pro obsah tuku pro integrační čas 7 x 12,5 ms.....	51
Obrázek 11. Grafická závislost validace obsahu tuku ve vzorcích párků při IT 7 x 12,5 ms.....	52
Obrázek 12. Kalibrační křivka pro obsah bílkovin pro integrační čas 7 x 12,5 ms.....	52
Obrázek 13. Grafická závislost validace obsahu bílkovin ve vzorcích párků při IT 7 x 12,5 ms.....	53
Obrázek 14. Kalibrační křivka pro obsah sušiny pro kalibrační čas 7 x 12,5 ms.....	54
Obrázek 15. Grafická závislost validace obsahu sušiny ve vzorcích párků při IT 7 x 12,5 ms.....	55
Obrázek 16. Kalibrační křivka pro obsah tuku pro kalibrační čas 8 x 12,5 ms.....	56
Obrázek 17. Grafická závislost validace obsahu tuku ve vzorcích párků při IT 8 x 12,5 ms.....	57
Obrázek 18. Kalibrační křivka pro obsah bílkovin pro integrační čas 8 x 12,5 ms.....	57
Obrázek 19. Grafická závislost validace obsahu bílkovin ve vzorcích párků při IT 8 x 12,5 ms.....	58
Obrázek 20. Kalibrační křivka pro obsah sušiny pro kalibrační čas 8 x 12,5 ms.....	59

---

Obrázek 21. Grafická závislost validace obsahu sušiny ve vzorcích párků při IT 8 x 12,5 ms..... 60

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Charakteristické vlnočty pro vybrané vazby .....	17
Tabulka 2. Legislativní členění masných výrobků a masných polotovarů na druhy a skupiny.....	21
Tabulka 3. Chemické a fyzikální požadavky vybraných druhů párků .....	22
Tabulka 4. Přehled použitých vzorků .....	39
Tabulka 5. Přehled stanovených hodnot jednotlivých parametrů.....	49
Tabulka 6. Parametry kalibračního modelu pro obsah tuku při IT 7 x 12,5 ms .....	51
Tabulka 7. Parametry kalibračního modelu pro obsah bílkovin při IT 7 x 12,5 ms .....	53
Tabulka 8. Parametry kalibračního modelu pro obsah sušiny při IT 7 x 12,5 ms .....	54
Tabulka 9. Parametry kalibračního modelu pro obsah tuku při IT 8 x 12,5 ms. ....	56
Tabulka 10. Parametry kalibračního modelu pro obsah bílkovin při IT 8 x 12,5 ms .....	58
Tabulka 11. Parametry kalibračního modelu pro obsah sušiny při IT 8 x 12,5 ms .....	59
Tabulka 12. Statistické ukazatele jednotlivých kalibračních modelů.....	60



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah tuku ve vzorcích vepřových párků při IT 7 x 12,5 ms

Příloha P II: Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah tuku ve vzorcích vepřových párků při IT 8 x 12,5 ms

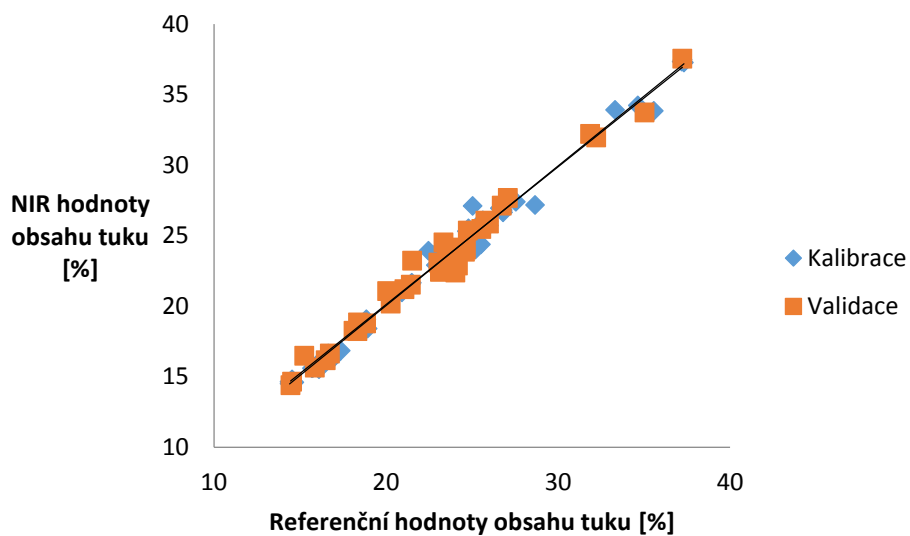
Příloha P III: Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah bílkovin ve vzorcích vepřových párků při IT 7 x 12,5 ms

Příloha P IV: Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah bílkovin ve vzorcích vepřových párků při IT 8 x 12,5 ms

Příloha P V: Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah sušiny ve vzorcích vepřových párků při IT 7 x 12,5 ms

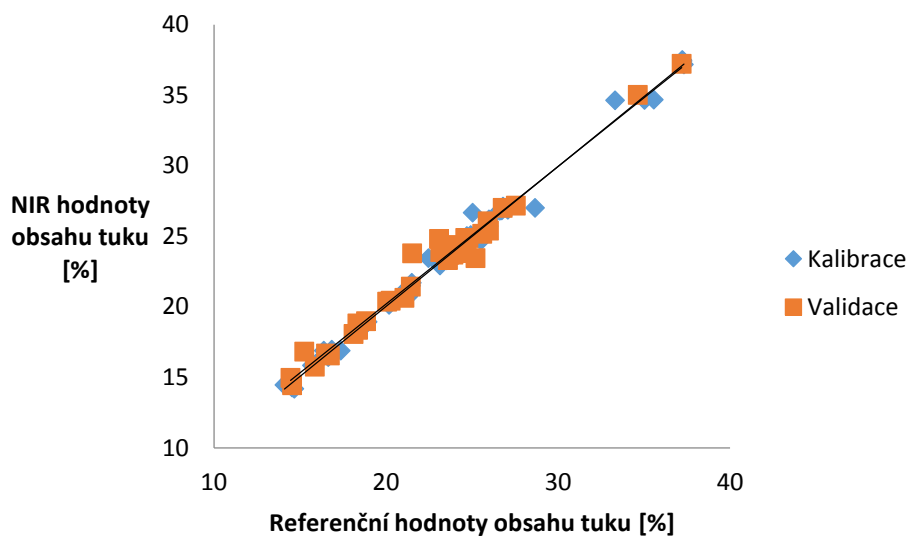
Příloha P VI: Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah sušiny ve vzorcích vepřových párků při IT 8 x 12,5 ms

## PŘÍLOHA P I:



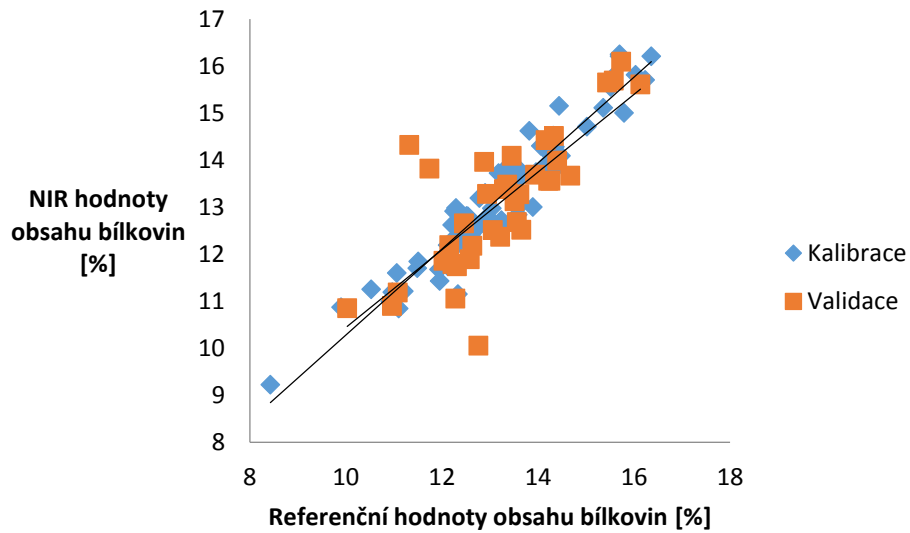
Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah tuku ve vzorcích vepřových párků při IT 7 x 12,5 ms

## PŘÍLOHA P II:



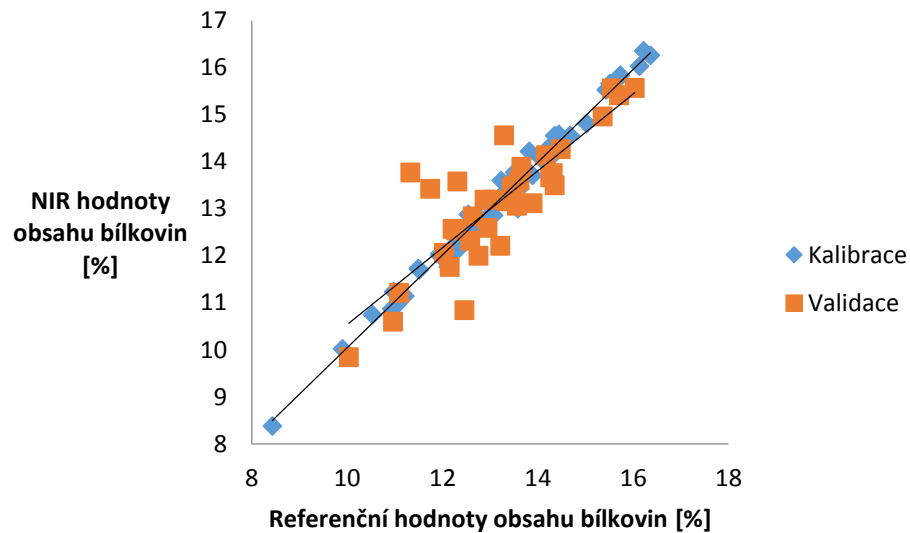
Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah tuku ve vzorcích vepřových párků při IT 8 x 12,5 ms

### PŘÍLOHA P III:



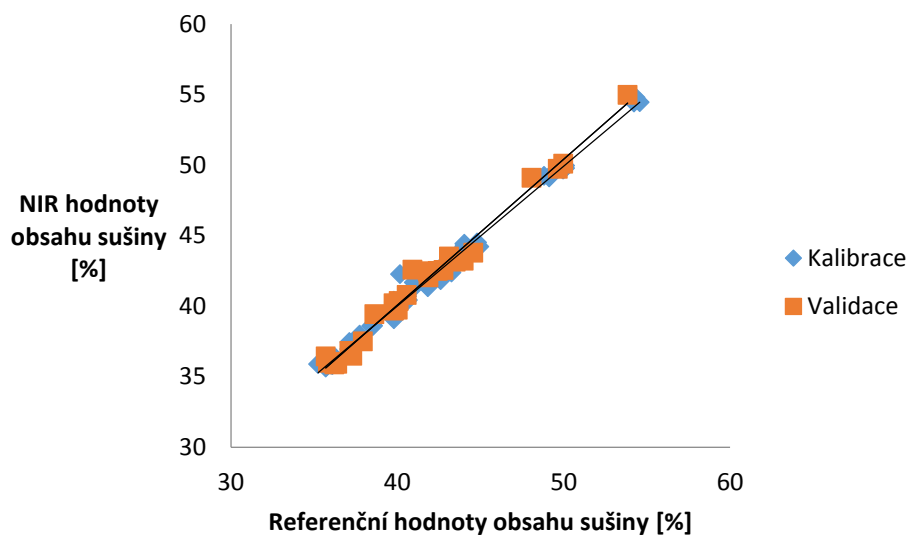
Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah bílkovin ve vzorcích vepřových párků při IT 7 x 12,5 ms

### PŘÍLOHA P IV:



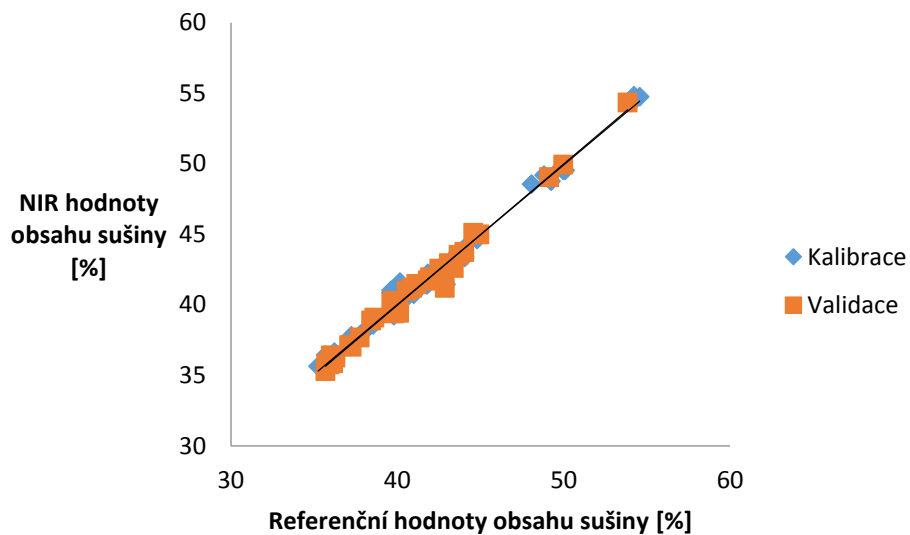
Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah bílkovin ve vzorcích vepřových párků při IT 8 x 12,5 ms

## PŘÍLOHA P V:



Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah sušiny ve vzorcích vepřových párků při IT 7 x 12,5 ms

## PŘÍLOHA P VI:



Porovnání kalibrační a validační křivky pro obsah sušiny ve vzorcích vepřových párků při IT 8 x 12,5 ms