

Vliv skladování na oxidace tuků u sušeného hovězího masa

Bc. Markéta Suchánková

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Markéta Suchánková
Osobní číslo:	T23474
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Vliv skladování na oxidaci tuků u sušeného hovězího masa.

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část:

Hovězí maso.

Chemické složení hovězího masa.

Proces sušení masa.

Oxidace lipidů a proteinů v mase.

Možnosti stanovení oxidace lipidů.

II. Praktická část:

Příprava vzorků.

Stanovení oxidace lipidů a proteinů.

Vyhodnocení a zpracování výsledků.

Diskuze výsledků a formulace závěrů z měření.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Singh, R. P., & Heldman, D. R. *Introduction to Food Engineering* (4th ed.). Academic Press, 2014. (chapter 12)
- [2] Wu, H., Tatiyaborworntham, N., Hajimohammadi, M., Decker, E. A., Richards, M. P., & Undeland, I. Model systems for studying lipid oxidation associated with muscle foods: Methods, challenges, and prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–19, 2022. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2105302>
- [3] Kamal-Eldin, A., & Pokorny, J. (Eds.). *Analysis of Lipid Oxidation*. American Oil Chemists' Society, 2008
- [4] Kim, Y. H., Kemp, R., Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Science*, 2016, 111, 168-176 S.
- [5] Feiner, Gerhard. (2006). *Meat Products Handbook – Practical Science and Technology*. Woodhead Publishing. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMHPST0H/meat-products-handbook/meat-products-handbook>

Vedoucí diplomové práce: **doc. Mgr. Barbora Lapčíková, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 14. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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 na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením vlivu délky skladování na oxidaci lipidů a související fyzikálně – chemické změny u sušeného hovězího masa. Oxidace tuků je jedním z hlavních degradačních procesů, které ovlivňují senzorické vlastnosti, bezpečnost i trvanlivost masných produktů. Cílem práce bylo sledovat vývoj oxidační stability a kvality sušení masa během pětíměsíčního skladování při 12°C.

V rámci experimentu byly hodnoceny změny pH, aktivity vody, oxidační stability pomocí thiobarbiturového čísla (TBARS) a teploty počátku oxidace při různých rychlostech ohřevu (DSC), dále texturní vlastnosti prostřednictvím Warner-Bratzlerova stříhového testu a barevné parametry pomocí instrumentálního hodnocení barvy masa v systému CIE L*a*b*.

Výsledky ukázaly, že skladování významně ovlivňuje oxidaci lipidů i fyzikální vlastnosti masa. Nejvyšší hladiny sekundárních produktů oxidace byly zaznamenány v prvních třech měsících, následně došlo k jejich poklesu, pravděpodobně v důsledku jejich další degradace. V rámci časového experimentu trvajícího pět měsíců však nebyly tyto změny statisticky významné. Rozdíly byly zaznamenány mezi jednotlivými vzorky A, B, a C což naznačuje vliv složení suroviny na průběh lipidové oxidace.

Změny byly rovněž patrné v tvrdosti vzorků a barevném profilu masa. Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že délka skladování má zásadní vliv na kvalitu sušeného hovězího masa a měla by být pečlivě sledována při výrobě a distribuci těchto produktů.

Klíčová slova: sušené hovězí maso, oxidace lipidů, DSC, textura, barevnost

ABSTRACT

This thesis deals with the evaluation of the effect of storage duration on lipid oxidation and related physical and chemical changes in dried beef. Fat oxidation is one of the main degradation processes that affect the sensory properties, safety, and shelf life of meat products. The aim of this study was to monitor the development of oxidative stability and drying quality of meat during five months of storage at 12°C.

The experiment evaluated changes in pH, water activity, oxidative stability using the thiobarbituric acid (TBARS) value, and the onset temperature of oxidation at different heating rates (DSC). Textural properties were assessed using the Warner-Bratzler shear test, and color parameters were evaluated using instrumental meat color assessment in the CIE L*a*b* system.

The results showed that storage significantly affects lipid oxidation and the physical properties of meat. The highest levels of secondary oxidation products were recorded in the first three months, followed by a decrease, probably due to further degradation. However, these changes were not statistically significant in a five-month time experiment. Differences were observed between samples A, B, and C, indicating the influence of raw material composition on the course of lipid oxidation.

Changes were also evident in the hardness of the samples and the color profile of the meat. Based on the results obtained, it can be concluded that the length of storage has a significant effect on the quality of dried beef and should be carefully monitored during the production and distribution of these products.

Keywords: dry beef, lipid oxidation, DSC, texture, colour

Touto cestou bych chtěla velmi poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a poskytnuté materiály. Mé poděkování také patří Ing. Tomáši Valentovi, Ph.D., za rady a pomoc ze zpracováním. Děkuji také své rodině, příteli, mamince, dětem a spolužákům, že mi po celou dobu studia byli velkou oporou.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST.....	14
1 CHARAKTERISTIKA HOVĚZÍHO MASA.....	15
1.1 SKOT	15
1.2 NUTRIČNÍ VÝZNAM POTRAVIN ŽIVOČIŠNÉHO PŮVODU.....	16
1.3 PRODUKCE, ZPRACOVÁNÍ A KONZUMACE MASA	16
2 MASO, JEHO SLOŽENÍ A VLASTNOSTI.....	17
2.1 VODA	17
2.2 BÍLKOVINY.....	18
2.3 TUK.....	18
2.5 VITAMÍNY	19
2.6 EXTRAKTIVNÍ LÁTKY	20
2.7 POSTMORTÁLNÍ PROCESY V MASE	20
2.7.1 Enzymové procesy ve svalovině jatečných zvířat po usmrcení	20
2.7.2 Fyzikálně chemické vlastnosti masa	21
3 SUŠENÉ MASO	23
3.1 PROCES SUŠENÍ MASA.....	23
3.1.1 Způsoby sušení.....	25
3.2 OXIDACE LIPIDŮ A PROTEINŮ	26
3.2.1 Možnosti stanovení oxidace lipidů.....	27
3.2.2 Tvorba lipidových volných radikálů a primárních produktů oxidace lipidů	28
3.2.3 Struktura lipidových hydroperoxidů	29
3.3 METODY STANOVENÍ OXIDACE LIPIDŮ	30
3.4 STANOVENÍ LIPIDŮ POMOCÍ DSC	31
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
4 CÍL PRÁCE	35
5 METODIKA	36
5.1 POPIS EXPERIMENTU.....	36
5.1.1 Kinetika sušení masa.....	38
5.2 ZÁKLADNÍ CHEMICKÁ ANALÝZA	39
5.2.1 Stanovení tuku metodou Soxhleta na přístroji Soxtherm.....	39
5.2.2 Stanovení thiobarbiturového čísla (TBARS)	40
5.2.3 Stanovení hrubé bílkoviny podle KJELDAHLA	41
5.3 FYZIKÁLNÍ ANALÝZA	42

5.3.1	Stanovení pH	42
5.3.2	Stanovení aktivity vody	43
5.3.3	Stanovení textury	44
5.3.4	Stanovení oxidace lipidů v mase pomocí DSC	45
5.3.5	Instrumentální stanovení barvy	47
5.4	SENZORICKÁ ANALÝZA MASA.....	48
5.4.1	Stanovení senzorického hodnocení pořadovou zkouškou	48
5.4.2	Statistické hodnocení intenzity senzorických znaků pomocí Kruskal-Wallisova testu	50
6	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE.....	51
6.1	CHARAKTERISTIKA ČERSTVÉHO MASA	51
6.2	VÝSLEDKY PROCESU SUŠENÍ MASA.....	52
6.2.2	Stanovení aktivity vody	54
6.2.3	Stanovení thiobarbiturového čísla	54
6.2.4	Oxidace lipidů masa pomocí DSC	57
6.2.5	Stanovení tvrdosti sušeného masa	65
6.2.6	Barevnost masa.....	67
6.2.7	Senzorická analýza sušeného masa	70
	ZÁVĚR.....	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM TABULEK.....	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	84

ÚVOD

Kvalita a stabilita potravin během skladování je jedním z hlavních témat současného potravinářského výzkumu. U výrobků s delší trvanlivostí, jako je například sušené maso, nabývají na významu především chemické změny, mezi nimiž zaujímá klíčové místo oxidace lipidů. Ta může negativně ovlivnit nejen senzorické vlastnosti produktu, ale i jeho nutriční hodnotu a zdravotní nezávadnost.

Sušení masa patří k nejstarším metodám konzervace, přičemž hovězí maso je v tomto směru velmi často využívanou surovinou díky svému charakteristickému složení – vysokému obsahu bílkovin, tuků a železa, ale také určitému množství vody, která musí být během sušení eliminována. Proces sušení významně ovlivňuje texturu, chuť, barvu a trvanlivost finálního produktu. Přestože se sušené maso vyznačuje nízkou aktivitou vody (a_w) a relativní mikrobiologickou stabilitou, během jeho dlouhodobého skladování dochází k fyzikálně-chemickým změnám, z nichž oxidace tuků patří mezi nejzásadnější.

Míra oxidace tuků je ovlivněna řadou faktorů – složení suroviny, technologickým postupem, podmínkami skladování, ale i délkou skladování. Oxidační procesy mohou vést ke změnám v chuti, vůni i struktuře produktu, a v pozdějších fázích i k tvorbě nežádoucích degradačních sloučenin. Z těchto důvodů je hodnocení lipidové oxidace zásadní pro pochopení stability sušeného masa v čase.

Tato diplomová práce se proto zabývá sledováním vlivu skladování na chemické a fyzikální vlastnosti sušeného hovězího masa, se zaměřením na proces oxidace lipidů. V rámci experimentu byly hodnoceny parametry jako pH, aktivita vody, oxidační stabilita, thiobarbiturové číslo (TBARS), barevnost a texturní vlastnosti masa. Získaná data přispějí k lepšímu porozumění tomu, jak skladovací podmínky ovlivňují kvalitu sušeného hovězího masa a mohou sloužit jako podklad pro optimalizaci výrobních a skladovacích postupů.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA HOVĚZÍHO MASA

Hovězí maso zahrnuje všechny části těl mladého skotu, mladého býka, býka, volka, jalovice a krávy, které jsou v čerstvém nebo upraveném stavu vhodné k lidské výživě. Tradičně se maso rozlišovalo na maso v širším smyslu, které zahrnovalo všechny požitelné části těl jatečných i lovených zvířat kromě svaloviny, tukové, pojivové, nervové a kosterní tkáně, a maso v užším smyslu, kterým se rozuměla příčně pruhovaná kosterní svalovina jatečných zvířat. Spolu s vepřovým a kuřecím masem patří hovězí maso mezi nejčastěji využívané druhy masa v české kuchyni. Celosvětově je jedním z nejvíce konzumovaných druhů masa, což vede k přísné kontrole jeho původu, kvality, způsobu bourání a dalšího zpracování.

Vyhláška č. 69/2016 Sb. o požadavcích na maso, masné výrobky, ryby, ostatní vodní živočichy a výrobky z nich, vejce a výrobky z nich definuje maso a jeho varianty takto: Maso - všechny části zvířat, které jsou vhodné k lidské potřebě, o její použitelnosti bylo rozhodnuto podle zvláštního právního předpisu a nebyly ošetřeny jinak než chladem nebo mrazem, včetně masa vakuově baleného nebo masa baleného v ochranné atmosféře.

Z nutričního hlediska je maso významným zdrojem plnohodnotných bílkovin, vitamínů, nenasycených mastných kyselin a minerálních látek. Přestože je možné sestavit plnohodnotnou výživu i bez jeho konzumace, vyžaduje to pečlivě vyváženou stravu kombinující rostlinné potraviny s mléčnými výrobky a vejci. Kromě nutričního významu hraje maso ve výživě důležitou roli i díky své senzorické atraktivitě, přičemž jeho chuťové vlastnosti přispívají k vysoké poptávce, a to i při relativně vyšší ceně ve srovnání s jinými potravinami. (Pipek a Jirotková, 2001)

1.1 Skot

Nejdůležitějšími užitkovými vlastnostmi skotu jsou produkce mléka a masa. Mezi plemena mléčného užitkového typu (dojená) patří zejména holštýnský skot (také černostrakatý nebo holštýnsko-fríský), který se ve vysokoprodukčních chovech využívá pro svou vysokou mléčnou užitkovost, dosahující dojivosti přes 10 tisíc kg mléka. Dalšími mléčnými plemeny jsou ayrshire a jerseyký skot, který je známý vysokým obsahem tuku v mléce (přes 5 %). Kombinovaná plemena skotu jsou ceněna pro vyváženou mléčnou a masnou užitkovost, přičemž se dobře přizpůsobují regionálním podmínkám. V České republice je nejvýznamnějším zástupcem této skupiny český strakatý skot, který vyniká solidní mléčnou užitkovostí i dobrým osvalením a výtěžností masa (Jůzl a Šárka Nedomová, 2015).

1.2 Nutriční význam potravin živočišného původu

Živočišné produkty se vyznačují vysokou nutriční hodnotou, proměnlivými vlastnostmi ovlivněnými vnitřními faktory působícími na zvíře a také vysokými nároky na kontrolu výroby a uvedení na trh. Jejich krátká trvanlivost souvisí s obsahem cenných živin, které jsou prospěšné nejen pro člověka, ale také pro mikroorganismy. Produkce těchto potravin probíhá v prostředí přirozeně bohatém na mikroorganismy, což bez vhodných hygienických a technických opatření může vést k jejich rychlému množení. Živočišné produkty tak mohou představovat zdravotní riziko, přičemž nejčastěji se objevují mikrobiologické a chemické kontaminace. Obecně mají potraviny živočišného původu vyšší kvalitu než rostlinné, a to díky obsahu a využitelnosti živin (Jůzl a Šárka Nedomová, 2015).

1.3 Produkce, zpracování a konzumace masa

Zařazení masa do stravy bylo a stále je vnímáno jako symbol prosperity společnosti. S rostoucí životní úrovní obyvatel planety dochází každoročně k nárůstu produkce i spotřeby masa. Mezi hlavní druhy masa patří hovězí, vepřové, drůbeží, ovčí a kozí, přičemž ryby se ve statistikách vykazují zvlášť kvůli rozdílům v ekonomických, technologických a distribučních faktorech. Celosvětová produkce masa na kosti dosahuje přibližně 300 milionů tun ročně. Tento termín označuje konečný produkt, který opouští zpracovatelské závody. Nejvíce se vyrábí a konzumuje vepřové maso, které například v EU tvoří polovinu celkové spotřeby, a podobná situace platí i pro Českou republiku. Největším producentem vepřového masa je Čína, která podle údajů OECD (2010) vyrábí až 50 milionů tun ročně, což představuje přibližně šestinu celosvětové produkce. Významnými producenty hovězího masa jsou USA, Brazílie, Čína, Argentina a Austrálie, které dohromady pokrývají téměř polovinu světové produkce. Naopak v Evropě se produkce hovězího masa dlouhodobě snižuje, zatímco asijské země zaznamenávají výrazný růst (Jůzl a Šárka Nedomová, 2015).

2 MASO, JEHO SLOŽENÍ A VLASTNOSTI

Hovězí maso patří mezi klíčové zdroje kvalitních bílkovin, jelikož obsahuje všechny esenciální aminokyseliny, které si lidské tělo nedokáže samo vytvořit a musí je získávat z potravy (Ingr et al., 2011).

Libové hovězí maso má v průměru 21 % bílkovin, které jsou nezbytné pro stavbu buněk a regulaci buněčného metabolismu. Obsah tuku v libovém hovězím se pohybuje kolem 3 %, přičemž tuk ovlivňuje jeho křehkost a chuť. Často panuje mylný názor, že hovězí i vepřové maso obsahuje vysoké množství cholesterolu, avšak ve skutečnosti se jeho obsah pohybuje kolem 600–800 mg na 1 kg masa, bez ohledu na druh. Hovězí maso je také významným zdrojem železa, které je v této formě pro lidský organismus dobře využitelné – hemové železo dokáže tělo vstřebat z 20–30 %, zatímco z rostlinných zdrojů pouze z 1–7 %. Proto je konzumace hovězího masa důležitá zejména pro děti v období růstu, těhotné ženy, sportovce a osoby s vyšší fyzickou zátěží. Kromě toho hovězí maso obsahuje významné množství zinku, selenu a vitaminů skupiny B, zejména vitamínu B12, který je nezbytný pro správné fungování organismu (Ingr et al., 2011).

Libová svalovina obsahuje přibližně 70–75 % vody, 18–22 % bílkovin, 2–3 % tuku, 1,7 % dusíkatých extraktivních látek, 1–1,5 % minerálních látek a 0,9–1,0 % bezdusíkatých extraktivních látek. Mezi bezdusíkaté extraktivní látky patří sacharidy, které se v mase vyskytují pouze v malém množství.

Důležitým ukazatelem poměru bílkovin a vody je Federovo číslo, které u hovězího masa dosahuje přibližně hodnoty 3,5. Tento parametr umožňuje na základě stanovení jedné složky, například obsahu tuku, rychle a jednoduše odhadnout celkové složení masa (Ingr et al., 2011). Technologické vlastnosti masa zahrnují faktory, které ovlivňují jeho zpracování v masném průmyslu i při kulinární úpravě. Při zrání hovězího masa se sledují především senzorické a texturní vlastnosti, které mají zásadní vliv na výslednou kvalitu produktu (Zrcková, 2006).

2.1 Voda

Voda je objemově nejvýznamnější a technologicky velmi důležitou složkou masa, jejíž množství se liší v závislosti na druhu a plemeni zvířete, jeho věku, morfologicko-anatomickém původu, výživě a podmínkách chovu. V mase se vyskytuje ve třech formách – vázaná voda, která je navázána na proteiny prostřednictvím vodíkových iontů, hydratační

voda tvořící molekulární vrstvu na povrchu biopolymerů a volná voda, která je poutána uvnitř myofibril kapilárními silami mezi tlustými a tenkými filamenty (Aberle et al., 2012). Mezi klíčové vlastnosti masa patří jeho vaznost, tedy schopnost vázat vodu, přičemž většina vody je uložena právě uvnitř myofibril. Po usmrcení zvířete dochází k jejímu postupnému uvolňování, což je důsledkem postmortálních změn, zejména během rigor mortis. Během opracování jatečného těla a následné manipulace, například tepelnou úpravou, dochází ke smršťování filament, což ovlivňuje strukturu i šťavnatost masa (Steinhauser a kol., 2000, Saláková a Bořilová, 2014).

2.2 Bílkoviny

Bílkoviny představují nejdůležitější technologickou i nutriční složku hovězího masa. Jejich obsah, složení a vlastnosti se liší v jednotlivých částech masa, stejně jako aminokyselinová skladba jednotlivých typů bílkovin. Ve většině případů však jde o plnohodnotné bílkoviny, což znamená, že obsahují všechny esenciální aminokyseliny ve vyváženém poměru. Díky vysokému podílu bílkovin, který se v čisté libové svalovině pohybuje kolem 20 %, patří hovězí maso mezi nejbohatší zdroje této makroživiny (Pipek, 1991, Velíšek a Hajšlová, 2009). Bílkoviny se podle rozpustnosti v solných roztocích a ve vodě dělí na stromatické, sarkoplasmatické a myofibrilární. V hovězím mase hrají klíčovou roli v posmrtných procesech, a tím ovlivňují jeho zrání. Přímá účast bílkovin na těchto procesech má zásadní vliv na vlastnosti masa, zejména jeho texturu (Hrabě et al., 2011).

2.3 Tuk

Rozložení tuku v těle zvířat je nerovnoměrné a u hovězího masa hraje jeho distribuce zásadní roli. Ideální je, aby maso nebylo pokryto silnou vrstvou depotního (zásobního) tuku, který tvoří samostatnou tukovou tkáň. Nejžádanější je mramorování, což znamená prorůstání tuku mezi svalovými vlákny ve formě jemných žilek, tedy intramuskulárního tuku. Intramuskulární tuk výrazně ovlivňuje senzorické vlastnosti masa po tepelné úpravě a je důležitým ukazatelem jeho kvality. Během vaření nebo pečení se tuk rozpouští, čímž chrání maso před vysušením, což zajišťuje jeho šťavnatost a křehkost. Na úroveň mramorování má vliv nejen plemeno, ale také způsob ustájení, množství pohybu, typ krmiva, věk a pohlaví zvířete. Maso volků je známé svou typickou křehkostí, šťavnatostí a jemností právě díky vyššímu podílu intramuskulárního tuku. Nejlepší výsledky v mramorování přináší kombinace volné pastvy s dokrmováním obilím v posledních měsících výkrmu. Takto chovaná zvířata produkují maso s výraznou chutí, optimálním mramorováním a pouze

tenkou vrstvou povrchového tuku, na rozdíl od intenzivně krmeného skotu (Pipek, 1991, Teubner, 2010, Odstrčil a Odstrčilová, 2006). Lipidy v hovězím masu se vyskytují převážně ve formě triacylglycerolů vyšších mastných kyselin, které tvoří až 99 % celkového obsahu tuků. Zbývající část představují polární fosfolipidy a doprovodné látky, jako jsou steroly, barviva a lipofilní vitaminy. Fosfolipidy fungují jako emulgátory tuků, avšak během skladování jsou náchylnější k oxidaci než samotné tuky. Hovězí maso obsahuje relativně nízké množství exogenního cholesterolu, který je často vnímán negativně. Cholesterol je přítomen jak ve svalovině, kde jeho množství zůstává stabilní, tak v tukové tkáni. Obecně se předpokládá, že libové maso obsahuje méně cholesterolu než maso tučné, nicméně mramorování přispívá k celkovému obsahu cholesterolu jen minimálně. (Ingr et al., 2003, Steinhäuser a kol., 2000, Hrabě et al., 2007, Straka a Malota, 2006).

2.4 Minerální látky

Minerální látky tvoří přibližně 1–1,5 % celkové hmotnosti masa a ve svalovině se nacházejí převážně ve formě iontů, přičemž většina z nich je rozpustná ve vodě. Hovězí maso je bohatým zdrojem zinku a zároveň významně přispívá k příjmu železa, sodíku, draslíku, vápníku, hořčíku, selenu a dalších minerálů. Jejich celkové množství závisí na věku, hmotnosti zvířete a obsahu intramuskulárního tuku (Lawrie a Ledward, 2006). Minerální látky hrají klíčovou roli v metabolických procesech, zejména při posmrtných změnách a technologických úpravách masa. Každý minerál plní v organismu specifickou funkci. Vápník se podílí na srážení krve a je základní složkou kostní struktury. Spolu s hořčíkem je součástí enzymů ovlivňujících biochemické pochody při svalových kontrakcích. Draslík a sodík regulují osmotický tlak a železo je nezbytnou složkou hemových barviv v hovězím masu (Duan et al., 2015).

2.5 Vitamíny

Vitaminy patří mezi nízkomolekulární látky, které jsou nezbytné pro správné fungování organismu. Hovězí maso je významným zdrojem hydrofilních vitaminů skupiny B, mezi které patří například riboflavin, thiamin a především vitamin B12, jenž se přirozeně vyskytuje pouze v potravinách živočišného původu. Z lipofilních vitaminů obsahuje maso zejména vitamin A, D a E, které se koncentrují v játrech a tukové tkáni. Vitamin C je v masu přítomen jen ve velmi malém množství, přičemž jeho vyšší obsah lze nalézt pouze v čerstvé krvi a játrech (Pipek, 1991, Lawrie a Ledward, 2006).

2.6 Extraktivní látky

Extraktivní látky jsou látky, které lze extrahovat vodou a jejich obsah v masě je poměrně malý. Přesto hrají klíčovou roli při vytváření typické chuti a aroma masa. Nejvíce těchto látek vzniká během posmrtných změn a obvykle se dělí na sacharidy, organické fosfáty a dusíkaté extraktivní látky (Steinhauser a kol., 2000). V masě jsou sacharidy obsaženy v malém množství, přičemž glykogen (živočišný škrob) je nejdůležitější. Slouží jako energetický rezervoár a má významný vliv na průběh zrání masa. Po usmrcení zvířete dochází k rozkladu glykogenu na glukózu a fosforečné deriváty glukózy (Velíšek a Hajšlová, 2009). Mezi organické fosfáty patří nukleotidy, nukleové kyseliny a jejich rozkladné produkty (Steinhauser a kol., 2000). Dusíkaté extraktivní látky zahrnují aminokyseliny a některé peptidy. Mezi volnými aminokyselinami se nachází glutamin, kyselina glutamová, glycin, lysin a alanin. Z peptidů jsou to především karnosin, anserin a glutathion, který má silné redukční vlastnosti a z technologického hlediska je důležitý při vybarvování masných výrobků (Velíšek a Hajšlová, 2009).

2.7 Postmortální procesy v masě

Běžné biochemické procesy ve svalovině probíhají za podmínek fungujících tkání, stabilní tělesné teploty, pravidelného krevního oběhu a funkční imunity. Po smrti zvířete dochází ke změně svaloviny v maso, což se děje bez krevního oběhu, za nedostatku kyslíku a při klesající teplotě tkání i prostředí. Svalovina již není chráněna před vnějšími ani vnitřními vlivy, například před mikroorganismy (Simeonovová et al., 2003).

Proces zrání masa je složitý biochemický děj, při němž dochází k přeměně svaloviny na maso působením enzymů. Skládá se z několika na sebe navazujících fází, které nelze snadno odlišit. U různých druhů masa probíhá odlišně, jak délkou trvání, tak svým průběhem. Zrání začíná bezprostředně po smrti zvířete a končí definitivním rozkladem masa. Jde o kvalitativní proces, který výrazně ovlivňuje vlastnosti suroviny (Koohmaraie a Geesink, 2006).

2.7.1 Enzymové procesy ve svalovině jatečných zvířat po usmrcení

Po usmrcení skotu se ve svalech spouštějí autolytické reakce, které jsou z velké části shodné s těmi, jež probíhají v živé tkáni, včetně účasti stejných enzymů. Klíčovým dějem během zrání masa je svalová kontrakce (Ingr et al., 2003). Degradční procesy, jako využívání

glykogenu pro anabolické pochody, například obnovu buněk, pohyb či termoregulaci, pokračují až do úplného vyčerpání živin. Jakmile je glykogen spotřebován, sval se stává tuhým, což odpovídá fázi rigor mortis. Po vyčerpání glykogenu se aktinová a myosinová vlákna začnou uvolňovat, čímž se spouští samotné zrání masa, tedy přeměna svalové tkáně na maso (Ingr et al., 2003). Enzymy, které katalyzují tyto reakce, vyžadují stabilní chemicko-fyzikální podmínky, jako jsou optimální pH, přítomnost kyslíku a vhodná teplota. Po smrti zvířete dochází k výrazné změně energetické bilance i těchto podmínek, což ovlivňuje aktivitu enzymů a může vést ke změně jejich katalytických funkcí nebo k aktivaci odlišných reakcí. Působení enzymů a proteinů má zásadní vliv na kvalitu a senzorické vlastnosti masa (Velíšek a Hajšlová, 2009, Perry, 2012).

Procesy po usmrcení dobytka se souhrně nazývají autolýza masa, a dále se dělí do čtyř fází: prae-rigor mortis, posmrtné ztuhnutí, zrání masa a hluboká autolýza (Ingr et al., 2003).

2.7.2 Fyzikálně chemické vlastnosti masa

Jedním z nejdůležitějších kvalitativních parametrů masa je pH, které má přímý vliv na funkční vlastnosti, stravitelnost a trvanlivost masa. Různé metody sušení, techniky balení a teploty skladování mají významný vliv na pH dehydratovaných masných výrobků. Masné výrobky sušené na vzduchu vykazují vyšší hodnotu pH než masné výrobky sušené mrazem. Rozdíl v hodnotách pH je způsoben ztrátou volných kyselých skupin v závislosti na postupech sušení. Dehydratované masné výrobky vykazují vyšší hodnotu pH při skladování při pokojové teplotě ve srovnání se skladováním při chladírenské teplotě, což je způsobeno produkcí aminů z bílkovin masa během skladování. Předvaření masa také zvyšuje hodnotu pH sušených masných výrobků v důsledku změny izoelektrického bodu bílkovin během denaturace (Mishra et al., 2017).

Aktivita vody je z technologického hlediska definována jako poměr tlaku vodních par potravin k tlaku par destilované vody při určité teplotě. Hodnoty aktivity vody se pohybují v rozmezí od 0,00 pro naprosto suchou látku do 1,0 pro destilovanou vodu (MZe 2, 2022).

Voda v potravinách, její umístění a dostupnost, je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících růst mikroorganismů a enzymatickou aktivitu. Stav vody v potravinách vyjadřuje její koeficient aktivity, který je mírou termodynamického chemického potenciálu vody v systému (Mishra et al., 2017).

Sušené produkty mají obvykle aktivitu vody (a_w) nižší než 0,7. Přídavek chloridu sodného nejen pomáhá při sušení, ale také snižuje úroveň a_w potravin. Aktivní voda by mohla být pro stabilitu potravin důležitější než celkové množství přítomné vody. Při velmi vysoké a velmi nízké aktivitě vody je oxidace lipidů nejvyšší, protože v prvním případě dochází ke zvýšenému pohybu prooxidantů a v druhém případě se zvyšuje oxidace. Voda inhibuje počínající oxidaci lipidů, ale podporuje sekundární reakci produktů degradace lipidů s bílkovinami při rostoucí a_w (Mishra et al., 2017).

Oxidace lipidů způsobuje výrazné změny vlastností potravin během skladování a výroby, což vede ke žluknutí. Proces oxidace může způsobit změny barvy, struktury, vůně a chuti sušené potraviny a dále nutriční hodnotu. K oxidaci lipidů často dochází během vaření a skladování a může souviset s denaturací bílkovin, antioxidačními účinky a s oxidačními procesy a aktivitou enzymů (Mediani et al., 2022).

3 SUŠENÉ MASO

Sušené maso a masné výrobky mohou být definovány jako celá svalovina nebo masné výrobky, které byly vystaveny dehydrataci, což dává masu jedinečné senzorické vlastnosti a zvýšenou trvanlivost takto upraveného masa (Mishra et al., 2017).

Suché zrání hovězího masa je praktikou jejíž cílem je zlepšení chuti a křehkosti masa. Tento proces spočívá ve skladování hovězích jatečně upravených těl bez ochranného obalu při chladírenských teplotách po dobu jednoho až pěti týdnů. Během tohoto období dochází k přirozeným enzymatickým a biochemickým procesům, jež vedou ke zlepšení křehkosti masa a rozvoji specifické chuti, která je charakteristická právě pro suché zrání hovězího masa. Rozlišování mezi suchým a mokřým zráním je poměrně novodobým fenoménem. Před rozvojem vakuového balení a distribuce baleného masa bylo suché zrání jedinou dostupnou metodou zrání masa. Nástup vakuového balení jako alternativního způsobu přepravy hovězího masa, nejprve ve Spojených státech amerických a následně i na mezinárodní úrovni, vedl v 70. letech k jeho rychlé dominanci jako primární metody přepravy, skladování a zrání masa. Již v 80. letech bylo v této formě prodáváno přes 90 % hovězího masa. V porovnání s tradičními postupy manipulace s hovězím masem nabízelo vakuové balení značné výhody, především v podobě minimalizace úbytku hmotnosti a ztrát při ořezu, což představovalo ekonomicky výhodné řešení pro zpracovatele, maloobchod a gastronomický sektor.

Při stanovení podmínek pro suché zrání hovězího masa je nutné brát v úvahu několik klíčových faktorů, mezi něž patří doba zrání, teplota skladování, relativní vlhkost a proudění vzduchu. Tyto faktory jsou zásadní, protože přímo ovlivňují vývoj chuťových vlastností, trvanlivost masa, ztrátu hmotnosti, riziko mikrobiálního znehodnocení a další kvalitativní aspekty (Savell, 2008).

3.1 Proces sušení masa

Sušení je konzervační metoda, při níž dochází k inhibici růstu bakterií a plísní díky snížení obsahu vody. Konvenční techniky sušení masa se využívají v malém, poloprůmyslovém i průmyslovém měřítku. Mezi nejrozšířenější metody patří konvekční sušení, které je založeno na ohřevu pomocí sluneční energie, mikrovlnného záření nebo proudu horkého vzduchu. Sušení lze využít jako jediný způsob konzervace při výrobě vysoce dehydratovaných a dlouhodobě skladovatelných produktů, což je běžné zejména v horkých

oblastech a rozvojových zemích, kde není dostupná chladicí či mrazicí infrastruktura (Turan, 2016, HUI, 2012).

Maso lze konzervovat sušením na vzduchu, přičemž před zahájením tohoto procesu je kladeno důraz na prosolení masa. Nasolení, ať už použitím soli nebo solící směsi, umožňuje rychlé odstranění přebytečné vlhkosti. Tento krok je klíčový pro zabránění růstu mikroorganismů a následné prodloužení trvanlivosti masa. Při sušení je nezbytné zohlednit specifické vlastnosti masa, které podléhá tomuto procesu. Délka a průběh sušení závisí na tloušťce, velikosti, konzistenci a hustotě masa, které je třeba zpracovat (Turan, 2016).

Sušení lze rovněž kombinovat s dalšími technikami, jako je uzení, kořenění, solení a zrání, což vede k výrobě produktů se střední vlhkostí, jako je šunka a uzeniny. Cílem volby takového kombinovaného ošetření je především zlepšení organoleptických vlastností (chuť, struktura) a zlepšení chutnosti konečného produktu, aby vyhovoval požadavkům spotřebitelů (HUI, 2012).

Sušení potravin patří k jedné z nejstarších metod konzervace potravin. Vliv vody v potravinách na kažení potravin je znám již od pradávna. Naši předkové začali konzervovat ryby, maso a ovoce sušením ve větru a na slunci (Peter a Leif, 2003). Nejstarší a zároveň stále využívaným typem sušení je tedy na slunci a větru, ale používá se pouze v krajinách s vhodnými klimatickými podmínkami (Půhoný, 1976).

Sušení patří mezi osmoanabiotické metody. Sušením se z potraviny odebírá voda, dojde ke snížení aktivity vody a zvýší se osmotický tlak (Kadlec a kol., 2009).

Odpařováním vody z výrobku se prodlužuje doba trvanlivosti a odpařování je ovlivněno klimatickými podmínkami a obalem (Dušátko, 1997). Existuje několik typů sušení: sušení na slunci, pečení, sušení horkým vzduchem, sušení na zahřátém povrchu a vakuové sušení ve speciálních pytlících (Juneja et al., 2018).

Velkou pozornost při sušení musíme věnovat rovnováze mezi odpařováním vody z povrchu výrobku na rychlost vzlínání vlhkosti z vnitřní části výrobku. V případě, že se potravina suší příliš rychle, uschne povrch výrobku a nepropustí vlhkost z vnějších částí. Tím zůstane výrobek nedosušený a může docházet k rozvoji mikroorganismů a tedy ke kažení výrobku (Černý, 2007).

Tento typ konzervace s ideální relativní vlhkostí a teplotou využíváme při výrobě tepelně opracovaných, neopracovaných a fermentovaných trvanlivých mastných výrobků. Doba

sušení se liší dle druhu výrobku a podmínek od několika hodin až po několik let (Čepička, 1995).

3.1.1 Způsoby sušení

Sušení na slunci je základní tradiční metodou sušení, která se vyznačuje přímým slunečním zářením a přirozenou cirkulací vzduchu v okolí. Kousky masa se nakrájejí na proužky nebo tenké plátky. Poté se zavěsí na volné prostranství nebo se rozloží na sušicí tácy vyrobené z vláken nebo drátěného pletiva s dřevěným nebo kovovým rámem (Sarker, 2015).

Při sušení na slunci, zejména při závěsné metodě, je maso někdy ponořeno do solného roztoku (přibližně 14 % kuchyňské soli). To pomáhá omezit růst mikroorganismů na povrchu masa a do určité míry chrání maso před hmyzem. Sušení těchto výrobků se většinou provádí v klimatizačních komorách s přesnými teplotními a vlhkostními parametry. Sušení v přírodních podmínkách je stále vzácnější (Sarker, 2015).

Dalším způsobem je mikrovlnné sušení. Mikrovlnná energie absorbovaná potravinovým materiálem se zde přeměňuje na teplo. Mikrovlnný ohřev přináší oproti konvenčnímu sušení významné výhody v podobě zkrácení času a zlepšení kvality potravin. Mikrovlnně sušené masné výrobky mají lepší rehydratační vlastnosti a nižší a_w a lepší mikrobiální kvalitu než masné výrobky sušené horkým vzduchem. Vyšší mikrovlnné záření zvyšuje vnější tok par, což zabraňuje kolapsu struktury tkání a zvyšuje rehydratační schopnost sušených výrobků (Mishra et al., 2017).

Lyofilizace je jedním z ideálních způsobů sušení pro biologické látky, které jsou náchylné na teplo a oxidaci. V tomto procesu je voda v potravinách zmrazena při nízké teplotě a okamžitě sublimuje z pevné látky na plyn ve vakuu. Takto si lyofilizované potraviny zachovávají svou výživovou hodnotu, protože nedochází k jejich rozkladu, dále si zachovávají původní barvu, chuť a vůni. Metoda lyofilizace je vhodná pro sušení masných výrobků, kdy se zachová vzhled sušeného masa a tím i nutriční hodnota (Mediani et al., 2022).

Dalším způsobem je sušení pomocí proudu vzduchu. Sušení na vzduchu je starobylý proces používaný ke konzervaci potravin, při němž je potravina vystavena nepřetržitě proudícímu horkému vzduchu, který způsobuje odpařování vody (HUI, 2012).

Horký vzduch je charakterizován teplotou, relativní vlhkostí a rychlostí. Tyto parametry by měly být vhodně zvoleny s ohledem na typ masa a konečný produkt. Měly by být také

kontrolovány v průběhu celého procesu pomocí vhodných čidel v sušicí komoře. Kromě toho jsou charakteristiky výrobku, tj. jeho velikost, tvar, struktura a složení klíčovými faktory, které určují dobu sušení potřebnou k tomu, aby konečný výrobek dosáhl bezpečného obsahu vody a a_w (HUI, 2012).

Sušení pomocí vzduchu vyžaduje určité parametry: ideální relativní vlhkost by se měla pohybovat okolo 65 až 75 % a teplota by měla mít hodnoty 12 až 18 °C (Turan, 2016).

3.2 Oxidace lipidů a proteinů

Během posmrtného zrání masa dochází k proteolytické degradaci svalových vláken na krátké peptidy, nukleotidy, volné aminokyseliny a další dusíkaté sloučeniny. Tyto látky mají pozitivní vliv na senzorické vlastnosti masa. Naopak, biochemické a chemické reakce, zejména oxidace lipidů a bílkovin, mohou negativně ovlivnit chuťové vlastnosti. Tyto změny se obvykle týkají nebalených částí masa, zatímco u masa baleného vakuově a chlazeného má oxidace minimální význam. Problémy mohou nastat u masa, které je dlouhodobě skladováno v chladicím zařízení, zejména pokud je nesprávně baleno (Fidel, 2017).

Lipidy mohou být oxidovány třemi hlavními způsoby, které zahrnují složité reakce: autoxidace, enzymaticky katalyzovaná oxidace a fotooxidace. Mezi těmito třemi mechanismy je autoxidace, což je kontinuální řetězová reakce volných radikálů, nejdůležitějším procesem oxidace lipidů v mase. Enzymatické a fotooxidační mechanismy se od autoxidace liší pouze ve fázi iniciace tvorbou hydroperoxidů.

Jak bylo uvedeno výše, autoxidace je hlavním procesem, při kterém nenasycené mastné kyseliny a kyslík interagují, a tím způsobují oxidační zhoršení masa a masných výrobků. Obvykle je proces autoxidace reprezentován jako kombinace tří odlišných fází: iniciace, při které vznikají volné radikály, propagace, při které se počet reaktivních sloučenin násobí, a nakonec terminace, při které se reaktivní sloučeniny degradují nebo reagují mezi sebou a vytvářejí nereaktivní sloučeniny (Domínguez et al., 2019).

Zhoršení lipidů může být způsobeno enzymatickou činností mikroorganismů, konkrétně mikrobiálními lipázami, které hydrolyzují esterové vazby triacylglycerolů a uvolňují mastné kyseliny. Tyto kyseliny jsou náchylnější k oxidaci a žluknutí. K oxidaci lipidů může přispět i působení chemických látek. Obecně platí, že změny lipidů v jatečném těle nejsou výrazné, a pokud jsou používány správné metody chlazení, lze těmito negativním účinkům účinně předejít (Fidel, 2017).

Sekundární produkty oxidace lipidů, jako je malondialdehyd, jsou měřeny pomocí reaktivních látek, jako je kyselina thiobarbiturová (TBARS). Hromadění těchto sekundárních produktů je příčinou žluknutí a nepříjemného zápachu masa. Oxidace lipidů se častěji vyskytuje na buněčných membránách než na triglyceridových frakcích, což znamená, že oxidace může probíhat jak na libovém mase, tak i na mase s vyšším obsahem tuku (Leygonie et al., 2012, Rahman et al., 2015).

Oxidace proteinů je spojena s různými prooxidačními faktory, jako jsou volné radikály, hemové pigmenty a oxidoredukční enzymy. Malondialdehyd je jedním z substrátů, který reaguje s deriváty bílkovin a vytváří karbonylové skupiny (aldehydy a ketony). Oxidace proteinů a lipidů je tedy neoddělitelně propojena. Oxidace bílkovin v mase může vést ke snížení jeho kvality, a to zejména zhoršením chuťových a dalších senzorických vlastností. Tyto změny jsou částečně způsobeny tvorbou proteinových agregátů, které vznikají prostřednictvím nekovalentních i kovalentních intermolekulárních vazeb reaktivního kyslíku, jenž napadá bílkoviny. Dalšími důsledky oxidace proteinů jsou destrukce aminokyselin, denaturace proteinů, zvýšená povrchová hydrofobicita, fragmentace a zesíťování proteinů, což vede k tvorbě karbonylových skupin (Leygonie et al., 2012).

Oxidace proteinů destabilizuje proteinovou matici, což může vést ke zvýšení houževnatosti, ztrátě schopnosti vázat vodu a ztrátě rozpustnosti bílkovin. U masa, jehož proteiny byly oxidovány, se kapacita zadržování vody výrazně snižuje. Oxidace myofibrilárních proteinů vede k jejich agregaci a koagulaci, což způsobuje smrštění mezibuněčných prostorů. Tímto způsobem se zvětší extracelulární prostor, což snižuje kapilární sílu, která drží vodu v mezibuněčném prostoru, a výsledkem je vylučování vody z masa jako exsudátu (Leygonie et al., 2012).

3.2.1 Možnosti stanovení oxidace lipidů

V posledním desetiletí byly analytické metody pro stanovení oxidovaných lipidů často revidovány, přičemž se zaměřovaly zejména na detekci jednotlivých tříd oxidovaných lipidů, jako jsou peroxidy, aldehydy, polární lipidy nebo polymery. V moderních laboratořích specializovaných na analýzu lipidů se analytici obvykle soustředí na konkrétní přístrojové vybavení. Před samotnou analýzou oxidovaných lipidů je třeba rozhodnout, zda je nezbytné stanovit jednotlivé sloučeniny, nebo zda stačí identifikovat jednotlivé třídy sloučenin. Stanovení konkrétních sloučenin často vyžaduje předchozí frakcionaci, což může přinést riziko vzniku artefaktů. Na druhou stranu stanovení tříd, například celkových

peroxidů nebo celkových aldehydů, je podstatně jednodušší. V izolovaných oxidovaných lipidech se mohou nacházet i různé oxidované minoritní složky, jako jsou oxidované steroly. Tyto složky zvyšují podíl oxidovaných lipidů a mohou analýzu zkomplikovat. Obvykle je efektivnější analyzovat celou směs než se pokoušet o separaci oxidovaných lipidů od minoritních oxidovaných látek a analyzovat každou frakci zvlášť. K dosažení přesného výsledku je nezbytné využít selektivní analytické metody (Kamal-Eldin a Pokorný, 2005).

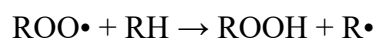
3.2.2 Tvorba lipidových volných radikálů a primárních produktů oxidace lipidů

Oxidace lipidů je iniciována tvorbou volných radikálů, a to i v případě, že probíhá enzymaticky katalyzovaná oxidace. Enzymová oxidace má u živočišných tuků omezený význam, neboť lipooxygenázy v živočišných tkáních chybí a mohou se uplatnit pouze lipooxygenázy mikrobiálního původu. Produktem této reakce je hydroperoxid mastné kyseliny, jenž následně vstupuje do dalších chemických procesů. Možnosti této reakce lze předejít inaktivací enzymů prostřednictvím tepelného záhřevu (Straka a Malota, 2006).

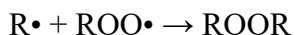
Pro vznik prvních lipidových volných radikálů je nutná relativně vysoká aktivační energie, která může být dodána například tepelnou energií, přírodní radioaktivitou, singletovým kyslíkem nebo jinými zdroji. Nenasycené mastné kyseliny, zejména di- a trienové kyseliny, se snadněji přeměňují na volné radikály než nasycené mastné kyseliny. Důvodem je snadnější uvolnění atomu vodíku z molekuly v přítomnosti dvojné vazby na sousedním uhlíkovém atomu. Podstatně nižší energie je dostatečná k tvorbě volných radikálů ze stop oxidace lipidů, zejména pokud jsou přítomny přechodné kovy, jako je měď, železo nebo mangan. Volné radikály se přirozeně vyskytují i v tkáních živých organismů. Kyslík samotný je biradikál, což znamená, že snadno reaguje s volným uhlíkem v radikální formě lipidů za vzniku peroxyradikálu. Volné radikály lze detekovat a zkoumat pomocí elektronové spinové rezonance. Peroxyradikály jsou vysoce energetické a mohou uvolňovat atom vodíku z lipidové molekuly, čímž se samy přeměňují na lipidové hydroperoxydy a současně vzniká další lipidový radikál. Tento proces se může opakovat mnohokrát. Pokud je volných radikálů v systému velké množství, jejich vysoká reaktivita vede k rychlým reakcím s jinými volnými radikály, což může vyústit ve vznik dimerů nebo polymerů. Obecné, často citované schéma oxidace lipidů je uvedeno níže (Velíšek, 2002):

Iniciační fáze: $RH \rightarrow R\bullet$

Propagační fáze: $R\bullet + O_2 \rightarrow ROO\bullet$



Terminační fáze: $2R\bullet \rightarrow RR$



3.2.3 Struktura lipidových hydroperoxidů

Struktura lipidových hydroperoxidů závisí na struktuře původní mastné kyseliny, což znamená, že vzniká směs izomerních hydroperoxidů. Tučky a oleje obsahují mnoho různých triacylglycerolů a každá mastná kyselina vázaná v triacylglycerolu podléhá oxidaci za vzniku několika nebo mnoha izomerních hydroperoxidů (Peroxidace lipidů, 2006). Hydroperoxidy přítomné v lipidech potravin jsou nenasycené a mohou být oxidovány podobnými mechanismy na dihydroperoxidy nebo hydroperoxidy obsahující další cyklickou peroxidovou skupinu. Z polynenasycených mastných kyselin mohou být také produkovány bicyklické diperoxidy. Existují speciální metody pro stanovení hydroperoxidů v přítomnosti cyklických peroxidů. Rychlost oxidace lipidů závisí na několika faktorech. Jak bylo uvedeno výše, polynenasycené lipidy oxidují rychleji než mononenasycené lipidy a nasycené lipidy jsou téměř stabilní. Rychlost oxidace se zvyšuje s rostoucí teplotou, tlakem kyslíku a zářením (Yanishlieva et al., 2001). Oxidaci katalyzují těžké kovy a naopak ji zpomalují antioxidanty. Voda a různé ne-lipidové složky potravin mohou také výrazně ovlivnit tento proces.

3.2.3.1 Rozklad hydroperoxidů na sekundární produkty oxidace

Rozklad hydroperoxidů na sekundární oxidační produkty je proces, při kterém dochází k degradaci nestabilních hydroperoxidů, zejména těch, které se nacházejí v polynenasycených mastných kyselinách. Tato degradace je urychlována stopovými množstvími těžkých kovů, ionty kovů a některými komplexy či nedisociovanými solemi. V rámci tohoto procesu vznikají tři základní typy degradačních produktů.

Prvním typem jsou monomerní degradační produkty hydroperoxidů, které vznikají různými reakcemi. Epoxidy, jako deriváty oxiranu, se tvoří interakcí hydroperoxidů s dvojnými vazbami. Transformační produkty vznikají redukcí hydroperoxylové skupiny na hydroxyderiváty nebo její dehydratací na ketony. V některých případech se mohou vyskytovat také cyklické monomerní deriváty.

Druhým typem jsou nízkomolekulární sloučeniny, které vznikají štěpením hydroperoxidového řetězce, nejčastěji na uhlíkovém atomu sousedícím s hydroperoxylovou skupinou. Mezi tyto produkty patří aldehydy, ketony, alkoholy a uhlovodíky. Těkavé

sloučeniny tohoto typu jsou zodpovědné za vznik žluklé příchuti oxidovaných lipidů (Domínguez et al., 2019).

Třetí skupinu představují vysokomolekulární kombinované produkty, které vznikají v průběhu polymerace volných radikálů produkovaných při rozkladu hydroperoxidů nebo kopolymerizací těchto produktů s jinými potravinářskými složkami. Dimery a trimery mohou mít alifatickou, monocyklickou nebo bicyklickou strukturu.

Oxidované lipidy obsahují směs všech výše zmíněných sekundárních produktů. Pro analýzu takto komplikovaných vzorků je vhodná prefrakcionace na jednodušší směsi před analýzou pomocí technik, jako je vysoce výkonná velikostní vylučovací chromatografie (HPSEC). Monomerní a polymerní sekundární oxidační produkty, které jsou stále nenasyčené, jsou dále oxidovány podobně jako původní mastné kyseliny. Oxidace probíhá také na atomech uhlíku sousedících s atomy obsahujícími kyslík ve funkčních skupinách řetězce (Geng et al., 2023).

Kromě těchto produktů se vyskytují i další sekundární produkty oxidace lipidů, které vykazují značnou nestabilitu, přičemž aldehydy patří mezi nejreaktivnější složky. Snadno podléhají oxidaci na peroxokyseliny, které jsou rovněž nestabilní a následně se rozkládají na směs dalších degradačních produktů. Nenasyčené aldehydy, alkoholy či ketony mohou být oxidovány na hydroperoxy, jejichž následným štěpením vznikají sloučeniny s kratším uhlíkovým řetězcem. Mezi konečné produkty těchto reakcí patří například kyselina mravenčí a další nízkomolekulární mastné kyseliny, jejichž přítomnost lze kvantifikovat metodami, jako je Rancimat nebo index oxidační stability. Vznik těkavých mastných kyselin se zároveň využívá jako indikátor v některých akcelerovaných metodách stanovení stability lipidů. Aldehydy mohou dále podléhat reakcím aldolizace a retroaldolizace i v prostředí bez přítomnosti kyslíku (Kamal-Eldin a Pokorny, 2005).

3.3 Metody stanovení oxidace lipidů

Primárními produkty oxidace lipidů jsou hydroperoxy, jejichž množství se stanovuje pomocí tzv. peroxidového čísla. Toto stanovení je založeno na jodometrické metodě, při níž hydroperoxy reagují s jodidem za vzniku elementárního jódu, jenž je následně titrován thiosíranem sodným. Jako indikátor se používá škrob. Výsledek analýzy je vyjádřen jako množství aktivního kyslíku (v mg) obsaženého v 1 g lipidů, který je schopen oxidovat jodid draselný. Peroxidové číslo představuje jednu z nejstarších a nejpoužívanějších metod

hodnocení oxidace lipidů. Kromě jodometrické metody existuje také spektrofotometrické stanovení konjugovaných dienů. Konjugované dvojné vazby vznikají v polynenasycených mastných kyselinách v důsledku oxidace. Tyto konjugované dieny absorbují ultrafialové záření při vlnové délce 234 nm. Zvýšení absorpce při této vlnové délce indikuje vyšší množství konjugovaných dvojných vazeb, a tím i vyšší stupeň oxidace (Laguerre et al., 2007, Pignitter a Somoza, 2012).

Jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení sekundárních produktů oxidace lipidů je TBARS analýza (thiobarbituric acid reactive substances – látky reagující s kyselinou thiobarbiturovou). Během procesu oxidace dochází k degradaci hydroperoxidů, což vede k tvorbě dalších oxidačních produktů, zejména aldehydů. Mezi nejvýznamnější z nich patří malondialdehyd (MDA) a 4-hydroxynonenal (HNE). Malondialdehyd reaguje s kyselinou 2-thiobarbiturovou za vzniku charakteristického barevného komplexu, jehož intenzita je měřitelná spektrofotometricky. Absorbance při vlnové délce 532–535 nm je přímo úměrná koncentraci MDA, a tedy míře oxidace lipidů. TBARS analýza tak poskytuje cenný nástroj pro hodnocení stupně lipidové peroxidace (Papastergiadis et al., 2012).

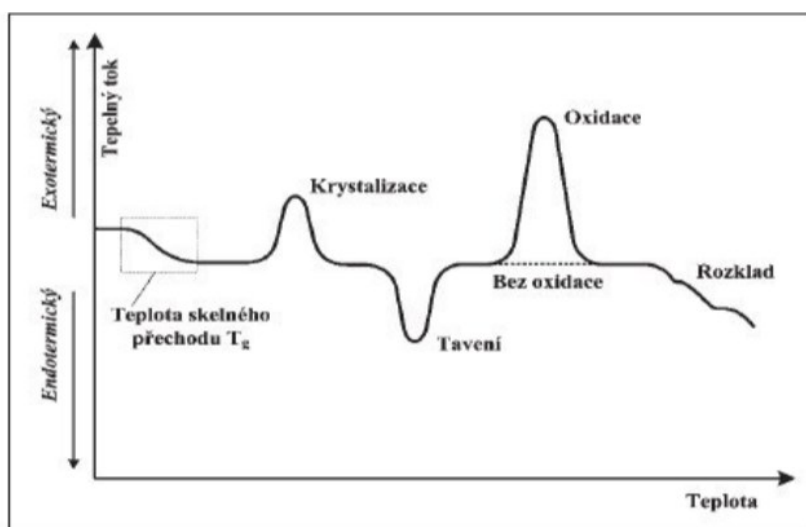
Metoda, kterou lze stanovit i jiné aldehydy než jen MDA je p-anisidinové číslo, ale její nevýhodou je, že neposkytuje přesné údaje o koncentraci a zastoupení jednotlivých produktů oxidace. Tato metoda vychází z reakce karbonylové skupiny aldehydů s p-anisidinem, což vede k vytvoření produktu, který absorbuje UV záření při 350 nm. Jelikož tato metoda poskytuje pouze orientační výsledky, je nutné použít jiné, přesnější analytické techniky (Zuo et al., 2017). Pro podrobnější analýzu sekundárních produktů oxidace lipidů, jako jsou aldehydy, ketony, alkoholy a další těkavé sloučeniny, se často využívá chromatografie. Jelikož většina těchto látek je těkavá, je ideální volbou plynová chromatografie (GC), která je často kombinována s hmotnostní spektrometrií (GC-MS). Tato kombinace metod umožňuje účinně separovat a detekovat jednotlivé složky směsi s vysokou citlivostí (Laguerre et al., 2007).

3.4 Stanovení lipidů pomocí DSC

Během každého chemického procesu dochází buď k absorpci, nebo uvolňování tepla; proto lze průběh těchto procesů sledovat monitorováním teploty vzorku nebo výměny tepla, když je reakční systém vystaven kontrolovanému teplotnímu programu. Termální analýza (TA) zahrnuje soubor metod založených na měření fyzikálních a chemických vlastností látky nebo směsi reagujících látek jako funkce teploty nebo času. Dvě hlavní termoanalytické techniky,

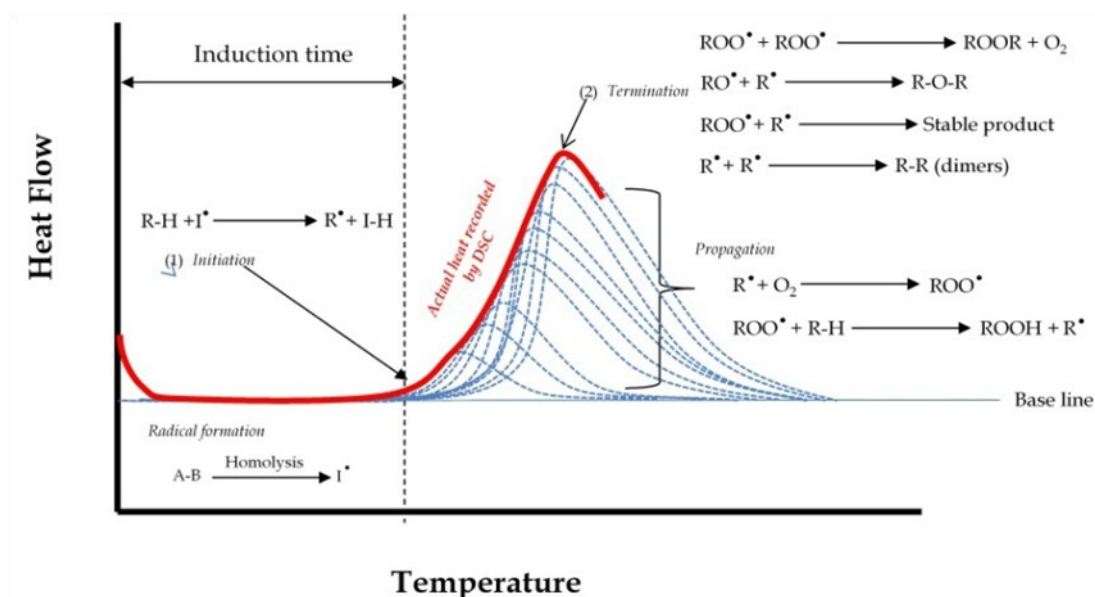
diferenciální termální analýza (DTA) a diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC), mohou být aplikovány k zkoumání chování organických a anorganických materiálů v závislosti na změně teploty a toku tepla. U některých procesů je hmotnost reakčního systému parametrem, který lze monitorovat k sledování průběhu reakce (Litwinienko, 2005). Vzhledem k tomu, že autoxidace je proces, při kterém dochází k uvolňování tepla, představuje termální analýza jednoduchou a přímou analytickou metodu pro sledování průběhu reakce prostřednictvím kontinuálního monitorování celkového termálního efektu oxidace lipidů probíhající v mikrokaloimetrické nádobě. Navíc aplikace neizotermických podmínek měření (lineární rychlost ohřevu) činí metody termální analýzy mnohem rychlejšími než jiné metody určování kinetických parametrů autoxidace (Ulkowski et al., 2005).

Diferenční kompenzační kalorimetrie (DSC, Differential Scanning Calorimetry) představuje moderní a široce užívanou techniku termické analýzy. Principem této metody je získání kvantitativních kalorimetrických dat na základě měření rozdílu tepelného toku do vzorku a referenční látky za podmínek nulového teplotního rozdílu mezi nimi. Měření probíhá při lineárním ohřevu nebo chlazení vzorku. V průběhu diferenční skenovací kalorimetrie je vzorek vystaven lineárně řízenému ohřevu nebo chlazení, přičemž kalorimetrická data jsou získávána měřením rozdílu tepelného toku mezi vzorkem a referencí při zachování nulového teplotního rozdílu. Tato metoda umožňuje detekci endotermních a exotermních procesů, jež se projevují změnou entalpie vzorku. Termické jevy se v závislosti na teplotě nebo čase se zaznamenávají formou exotermického nebo endotermického píku.



Obrázek 1 Znázornění křivky DSC (Slobodian et al., 2014)

Při termické analýze se jako referenční vzorek (standard) nejčastěji používá prázdný kelímek vyrobený z hliníku, platiny, zlata nebo jiných kovů a jejich slitin. Pro analýzu na přístroji DSC se využívá velmi malé množství vzorku, obvykle v rozmezí 1-20 mg, což je výhodné pro dosažení vysoké přesnosti měření. Optimální hmotnost vzorků analyzovaných metodou DSC by měla být menší než 10 mg, aby se vytvořila plochá, tenká vrstva na dně vzorkovnice. Měření oxidace lipidů probíhá v atmosféře kyslíku při různých rychlostech ohřevu. Na obrázku 2 je záznam DSC křivky oxidace lipidů a znázornění příslušných oxidačních reakcí (Litwinienko, 2005).



Obrázek 2 DSC termogram ne-isotermní oxidace lipidů (Saldaña and S.I. Martínez-Monteagudo, 2013).

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat oxidační stabilitu tuků v sušeném hovějším mase pomocí DSC. V rámci výzkumu byly stanoveny klíčové parametry, jako je pH, aktivita vody, textura a barevnost vzorků v různých fázích skladování. Na základě těchto analýz byl vyhodnocen vliv sušení na fyzikálně-chemické vlastnosti masa a jeho stabilitu vůči oxidačním procesům. Kromě toho byla provedena senzorická analýza, zahrnující Friedmanův test a Kruskal-Wallisův test, za účelem posouzení rozdílů v senzorických vlastnostech vzorků.

5 METODIKA

5.1 Popis experimentu

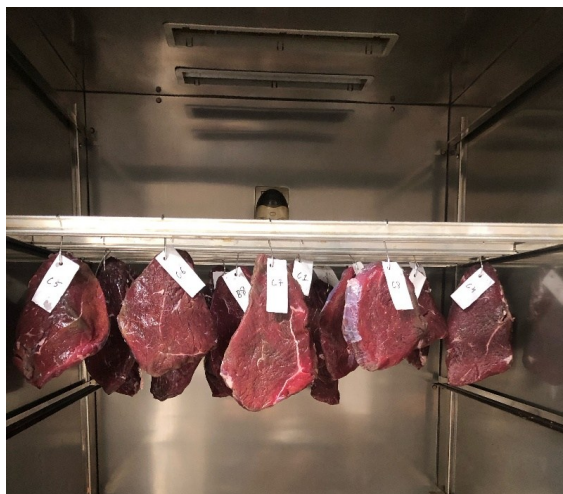
Základní surovinou pro přípravu vzorků bylo hovězí maso pocházející z býka plemene české červenostrakaté ve stáří 24 měsíců, krmeného kukuřičnou siláží, senem a běžnou jadrou směsí. Datum porážky bylo 21. června 2024. Čtyři dny po porážce (*post-mortem*) byly provedeny analýzy obsahu tuku, bílkovin, vody a stanovení hodnoty pH. Tři týdny po porážce byly vzorky hovězích steaků nakrájeny z různých partií – vysoký roštěnec (A), květová špička (B), vysoká plec (C). Z každého druhu masa bylo nakrájeno osm steaků o hmotnosti přibližně 350 g a rozměrech viz Tabulka 1. Připravené vzorky byly nasoleny jedlou solí v koncentraci 3 % a následně uchovávány v chladírně při teplotě 2 °C po dobu tří dnů. Poté byly jednotlivé vzorky označeny a uloženy do zrací komory Maso-Profit KRA 2000. Sušení bylo realizováno při teplotě (2 ± 1) °C a relativní vlhkosti 75 % po dobu 20 dní (od 11. července do 31. července 2024). Jednotlivé vzorky masa (celkem 24 vzorků) byly každý den váženy až do úbytku hmotnosti v rozsahu 49 až 56 hm. %, v závislosti na velikosti vzorku. Průměrná hodnota aktivity vody (a_w) na konci sušení dosahovala $(0,8619 \pm 0,0246)$ (31. července 2024). Ihned po vyjmutí ze zrací komory byly stanoveny hodnoty TBARS, textura a barva vzorků. Další vzorky byly vakuově zabaleny a umístěny do skladovací komory při teplotě 12 °C. V časových intervalech 1, 2, 3 a 5 měsíců byly stanoveny parametry oxidace lipidů pomocí DSC, TBARS, textura a barevnost vzorků.



Obrázek 3 Jednotlivé porce steaků (zdroj: vlastní)



Obrázek 4 Steak (zdroj: vlastní)



Obrázek 5 Vzorky ve zrací komoře (zdroj: vlastní)

5.1.1 Kinetika sušení masa

Během procesu sušení hovězích plátků byl denně zaznamenáván úbytek hmotnosti a z křivky sušení byl vyhodnocen poměr vlhkosti MR (rovnice 1):

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

kde M_t je vlhkost v čase (t , hod.), M_0 je počáteční obsah vlhkosti, M_e je rovnovážná vlhkost během procesu sušení. Hodnota M_e byla vzata jako nulová, protože její hodnota byla relativně nižší než M_0 a M_t (Aykin-Dincer et al., 2019). Rychlost úbytku vlhkosti ve vzorcích masa závisí na teplotě a vlhkosti v sušící komoře a také rozměrech vzorku. Pro úbytek hmotnosti v čase byl stanoven difúzní koeficient D_{eff} (m^2/s), pro jeho výpočet byla využita rovnice 2 a 3.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{[2n+1]^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

$$K = -\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (3)$$

kde L je tloušťka vzorku masa, n je počet měření, μ^2 je Thieleho modul, jehož hodnota 3,14 indikuje dominující difúzní mechanismus sušení masa. D_{eff} se vypočítá z grafické závislosti přirozeného logaritmu $\ln(MR)$ versus (t), kde směrnice přímky je hodnota K (rovnice 3) (Kamiloğlu et al., 2023, Álvarez et al., 2023, Aykin-Dincer et al., 2020).



Obrázek 6 Sušené vzorky (zdroj: vlastní)

5.2 Základní chemická analýza

5.2.1 Stanovení tuku metodou Soxhleta na přístroji Soxtherm

Princip metody:

Tato metoda je založena na extrakci tuku pomocí Soxhletova extraktoru a je vhodná pro analýzu tuku ve vzorcích potravin a krmiv. Vzorek je umístěn do extrakční patrony, která se vloží do varné baňky a zalije nepolárním rozpouštědlem (hexan). Zahříváním pod zpětným chladičem dochází k extrakci tuku do rozpouštědla. Po ukončení extrakce se rozpouštědlo odpaří a v baňce zůstanou pouze tuky. Obsah tuku se stanoví jako rozdíl hmotnosti prázdné baňky a baňky s tukem, vztažený na navážku vzorku.

Postup stanovení:

Předsušené extrakční nádobky s varnými kamínky byly zváženy s přesností na čtyři desetinná místa. Do extrakčních patron bylo naváženo 2 g rozemletého vzorku. Patrona byla umístěna do drátěného držáku, který byl vložen do předem zvážené extrakční nádoby. Do nádobek bylo následně přidáno 100 ml hexanu a patrony byly přikryty vatou. Nádoby byly vloženy do přístroje Soxtherm a spuštěn extrakční program „Hexan“. Parametry extrakce byly nastaveny následovně: teplota extrakce 160 °C, doba extrakce 1 hodina 15 minut a celková doba procesu 2 hodiny 22 minut. Po skončení extrakce byly extrakční nádobky vyjmuty, extrakční patrony odstraněny a zbytkový hexan byl odpařen na topném hnízdě. Vzorky byly sušeny v sušárně při 65 °C po dobu 30 minut. Po zchlazení v exsikátoru byly nádobky zváženy a obsah tuku byl vypočten podle vztahu (4):

$$w_{tuk} = 100 \cdot \frac{(b-a)}{m_{vz}} \quad (4)$$

kde: a je hmotnost prázdné nádoby s varnými kamínky [g]

b je hmotnost vysušené nádoby s tukem [g]

m_{vz} je navážka vzorku [g]

Průměrná hodnota obsahu tuku ve vzorku byla vždy vypočítána ze tří stanovení.

5.2.2 Stanovení thiobarbiturového čísla (TBARS)

Princip metody:

Stanovení thiobarbiturového čísla umožňuje kvantifikaci obsahu malondialdehydu, což je sekundární produkt oxidace lipidů. Malondialdehyd reaguje s kyselinou 2-thiobarbiturovou za vzniku charakteristického barevného komplexu s růžovým zbarvením. Intenzita tohoto zbarvení je následně analyzována spektrofotometricky. Měření absorbance se provádí při vlnové délce 538 nm nebo 450 nm.

volné radikály + nenasycená mastná kyselina $\rightarrow$ MDA

MDA + TBA $\rightarrow$ barevný komplex

Postup stanovení:

Do 50ml zkumavky bylo naváženo 5 g homogenizovaného vzorku s přesností 0,001 g, ke kterému bylo přidáno 15 ml kyseliny chloristé o koncentraci 3,86 % a 0,5 ml 4,2% etanolového roztoku butylhydroxytoluenu (BHT). Slepý pokus č. 1 byl připraven smísením 5 ml destilované vody, 15 ml kyseliny chloristé (3,86 %) a 0,5 ml roztoku BHT, přičemž byl následně zpracován stejným způsobem jako vzorek. Směs byla důkladně promíchána na vortexu, a poté třepána po dobu 15 minut. Po odstředění (5 minut při 6000 ot./min) byla provedena filtrace přes papírový filtr a z filtrátu byla odebrána alikvotní část (4 ml), ke které bylo přidáno 454 ml roztoku kyseliny thiobarbiturové o koncentraci 0,02 mol/l.

Slepý pokus č. 2 byl připraven smísením 4 ml vzorku a 4 ml destilované vody. Směs byla následně zahřívána ve vodní lázni při 100 °C po dobu 45 minut za použití skleněných kuliček, poté byla zchlazena, přefiltrována přes stříkačkový filtr a absorbance byla proměřena při vlnové délce 538 nm a 450 nm. Spektrofotometr byl vynulován na destilovanou vodu (funkce „auto zero“). Obsah kyseliny thiobarbiturové ve vzorku byl stanoven na základě kalibrační křivky a výsledky byly vyjádřeny v miligramech malondialdehydu (MDA) ekvivalentních na kilogram vzorku. Absorbance žlutých odstínů byla měřena při 450 nm, zatímco červené odstíny byly stanoveny při 538 nm.

Rovnice kalibrační přímky malondialdehydu (MDA) s využitím standardu

1,1,3,3-tetramethoxypropanu (TMP):

$$C = (A - 0.049)/(150093)$$

$$\text{mg MDA/kg} = 2.96 \times [(A - 0.049)/1.5]$$

Kde: C - koncentrace TMP (mol/l), A – absorbance, hodnota 150093 - molární extinkční koeficient MDA (směrnice kalibrační přímky), hodnota 0.049 - konstanta (parametr kalibrační přímky).

5.2.3 Stanovení hrubé bílkoviny podle KJELDAHLA

Princip metody:

Khjeldalovu metodu lze rozdělit do tří hlavních kroků: mineralizace na mokré cestě, destilace a titrace. Kontrola kvality v mineralizačních postupech zahrnuje ověření kroků mineralizace na mokré cestě a destilace. Mineralizace na mokré cestě se běžně ověřuje standardní látkou se známým obsahem dusíku, například glycinu (Persson, Ph.D. et al., 2008).

Mineralizace na mokré cestě je založena na varu vzorku v koncentrované kyselině sírové (H_2SO_4). Během tohoto procesu dochází k rozkladu dusíkatých sloučenin za vzniku síranu amonného ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) v přítomnosti katalyzátoru. Během mineralizace suspenze zčerná v důsledku přítomnosti uhlíkových zbytků, zatímco po úplném rozkladu organických sloučenin se mineralizát stává světle modrým.

Rozklad probíhá v Kjeldahlově baňce umístěné na topném bloku. K výslednému mineralizátu se přidává hydroxid sodný (NaOH), čímž se uvolňuje amoniak, který je následně destilován do předlohy obsahující kyselinu boritou (H_3BO_3), destilovanou vodu a směsný acidobazický indikátor (Dumas BT, 1998). Zachycený amoniak reaguje s kyselinou boritou za vzniku dihydrogenboritanu amonného, který je následně přímo titrován standardním roztokem kyseliny sírové (H_2SO_4). Barevná změna indikátoru při pH v rozmezí 4–6 umožňuje vizuální kontrolu titrace (Meeker, Wagner, 2002).

Postup stanovení:

Mineralizace mokrou cestou – přístroj Bloc Digest 12

Do mineralizační zkušavky bylo naváženo 0,25 g vzorku. Přidalo se 10 ml koncentrované kyseliny sírové, 0,5 ml peroxidu vodíku a 1 g katalyzátoru ($\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, poměr 10:1). Chladicí voda byla spuštěna tak, aby v zadní láhvi unikaly pomalu bublinky. Program

mineralizace byl zahájen a nastaven na dobu 60 minut při teplotě 400 °C. Odpočet doby mineralizace začal po dosažení požadované teploty. Po ukončení mineralizace byla směs ponechána přibližně 5 minut k ochlazení, dokud nebyla odsáta pára. Zkumavky byly následně přemístěny do stojánku a ponechány k dalšímu ochlazení a jejich obsah byl poté přelit do odměrných baněk o objemu 25 ml.

Destilace na přístroji Behr S2

Odměrné baňky byly doplněny po rysku, případná sraženina byla rozpuštěna v ultrazvuku. Pomocí nedělené pipety bylo do mineralizační zkumavky napipetováno 10 ml vzorku a do titrační baňky bylo napipetováno 50 ml 2 % kyseliny borité a přidán 30 % roztok NaOH za účelem mineralizace vzorku.

Titrace kyselinou sírovou

Titrace probíhala pomocí 0,025 mol·dm⁻³ kyseliny sírové na indikátor Tashiro. Kyselina byla dávkována a spotřeba byla zaznamenávána.

5.3 Fyzikální analýza

5.3.1 Stanovení pH

Hodnota pH představuje ukazatel míry kyselosti či zásaditosti dané potraviny a její vyjádření se opírá o stupnici v rozmezí 0–14. Neutrální pH je definováno hodnotou 7, která zároveň slouží jako hranice mezi kyselými a zásaditými látkami. Potraviny s pH vyšším než 7 jsou klasifikovány jako alkalické, zatímco hodnoty nižší než 7 jsou charakteristické pro kyselé potraviny. Většina potravin sestává z různých složek, jež mohou v různé míře ovlivňovat výslednou hodnotu pH. Tento parametr hraje zásadní roli zejména z mikrobiologického hlediska, neboť významně přispívá k zajištění zdravotní nezávadnosti potravin. Rozmnožování mikroorganismů je podmíněno specifickým pH prostředím, přičemž většina mikroorganismů vykazuje citlivost vůči kyselému prostředí a je schopna růst v rozmezí pH 4,5 až 8,0. Zvláštní význam má pH nižší než 4,5, které inhibuje růst bakterie *Clostridium botulinum*, jež produkuje vysoce toxický botulotoxin. Obecně lze konstatovat, že potraviny s nižší hodnotou pH disponují přirozeně vyšší odolností vůči mikrobiální degradaci, což zvyšuje jejich stabilitu a prodlužuje trvanlivost (PH Bezpečnost potravin).

Hodnoty pH vzorků čerstvého masa byly měřeny při teplotě (20,0 ± 0,1) °C pomocí pH-metru HI 99161 (Foodcare, Austrálie).

5.3.2 Stanovení aktivity vody

Princip metody:

Vodní aktivita (a_w) představuje fyzikálně-chemickou veličinu vyjadřující podíl volné vody ve vzorku, která není vázána v hydratačních obalech iontů a je dostupná pro mikrobiální růst. Hodnota aktivity vody se pohybuje mezi 0 a 1 a je nepřímo úměrná osmotickému tlaku. Látky s nízkou vodní aktivitou jsou méně náchylné ke kazivosti způsobené mikroorganismy.

Vodní aktivita ovlivňuje:

- Růst a množení mikroorganismů,
- Biochemické a chemické reakce,
- Organoleptické vlastnosti potravin.

Kromě celkového obsahu vody v potravine je klíčová také její dostupnost a využitelnost.

Aproximace Lewisova zákona pro nízký tlak (5)

$$a_w = \frac{p_w}{p_{w0}} = \frac{\varphi}{100} \quad (5)$$

Kde: p_w - parciální tlak vodní páry nad vzorkem,

p_{w0} – parciální tlak vodní páry čisté vody při stejné teplotě,

φ - rovnovážná relativní vlhkost vzduchu v procentech.

Postup stanovení:

Aktivita vody ve vzorcích sušeného hovězího masa byla měřena pomocí analyzátoru AquaLab 4 (Decagon Devices, USA), který umožňuje stanovení hodnot v rozmezí 0,030–1,000 a_w s přesností $\pm 0,003 a_w$. Měření bylo prováděno při konstantní teplotě

$(20,0 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$. Přístroj byl před každým měřením kalibrován pomocí standardního roztoku 2,33 M NaCl (U.S.P. grade) s deklarovanou hodnotou $0,920 \pm 0,003 a_w$, dodaného společností METER Group, Inc. (USA).

5.3.3 Stanovení textury

Warner-Bratzlerův test představuje jednu z nejrozšířenějších instrumentálních metod pro hodnocení textury masa, přičemž se zaměřuje na měření jeho pevnosti a tuhosti. Jedná se o empirickou techniku, která za využití specializovaného přístroje kvantifikuje jednu z klíčových vlastností masa za předem definovaných podmínek. Tento test vykazuje vysokou korelaci se senzorickým hodnocením textury masa (Nollet et al., 2007), což naznačuje, že výsledky získané přístrojovým měřením jsou v souladu se subjektivními senzorickými vjemy. Princip testu spočívá v měření síly potřebné k přetnutí svaloviny vzorku. Vzorek je během testu prořezáván speciálním Warner-Bratzlerovým nožem, jehož tvar připomíná písmeno „V“, až do okamžiku, kdy dojde k úplnému přerušení svalových vláken. Během tohoto procesu je měřena maximální síla nutná k přestřižení vláken, čímž se určuje tuhost vzorku masa. Základní podmínkou testu je, že nůž musí při řezání procházet kolmo na uspořádání svalových vláken vzorku (Saláková et al., 2014).

Při provádění testu se zaznamenává maximální síla (N), která je závislá na posunutí nože v milimetrech (mm) a rovněž tlak potřebný k provedení stříhu, který se vyjadřuje v MPa. Výsledkem testu je hodnota pevnosti a tuhosti masa, která reflektuje jeho mechanickou odolnost (Saláková et al., 2014).

Postup stanovení:

Z prostřední části vzorku byly vyříznuty dílky masa o velikosti (2×2×1) cm, které byly zbaveny tuhých okrajů. U těchto vzorků bylo provedeno stanovení texturních vlastností pomocí analyzátoru textury TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK). Konkrétně byla analýza textury provedena Warner-Bratzlerovým stříhovým testem, kdy byla nastavena rychlost nože 1,33 mm/s a spouštěcí síla 5 g.



Obrázek 7 Analyzátor textury TA.XT plus (zdroj: vlastní)

5.3.4 Stanovení oxidace lipidů v mase pomocí DSC

Oxidace lipidů v potravinách je klíčový faktor zhoršení jejich kvality. Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) představuje účinný nástroj pro predikci oxidačního chování lipidů při nižších teplotách, které odpovídají podmínkám skladování potravin a jejich manipulace. Jako optimální analytická metoda umožňuje DSC propojit výsledky termické analýzy s chemickými změnami probíhajícími v oxidovaném vzorku, aniž by docházelo k zavádějícím interpretacím (Tengku-Rozaina a Birch, 2019). Při studiu oxidace lipidů pomocí DSC se sleduje, jak lipidy reagují na zahřívání v přítomnosti kyslíku, a jaké tepelné změny doprovázejí tento proces.

Postup stanovení:

Stanovení bylo provedeno pomocí přístroje DSC 250 (TA Instruments, USA). Lyofilizované, rozemleté vzorky sušeného masa byly extrahovány v hexanu za účelem získání tuku. Extrahovaný tuk byl navážen do hliníkových pánviček ($10,0 \text{ mg} \pm 0,5$) a prázdná pánvička byla použita jako reference. Vzorky byly měřeny v rozmezí teplot 150°C až 300°C při rychlostech ohřevu 2, 5, 10, 15, 20 $^\circ\text{C}/\text{min}$ v atmosféře kyslíku 100 ml/min v otevřených pánvičkách. Byla vyhodnocena počáteční teplota (T_s) a onset teplota oxidace tuků (T_{on}). Dle iso-konverzní metody Ozawa Flynn Wall byly z naměřených dat T_s a T_{on} získány kinetické parametry oxidace tuků (aktivační energie E_a , pre-exponenciální faktor A a rychlostní konstanta k). Hodnota aktivační energie E_a a pre-exponenciálního faktoru A byla vypočítána z lineární závislosti $\ln \beta$ versus $1/T$ (K^{-1}) (rovnice 3 -5), kde a je směrnice a b úsek na ose y (Saldaña and S.I. Martínez-Monteagudo, 2013, Litwinienko, 2005). Rychlostní konstanta k byla vypočítána z Arrheniovy rovnice (6) při teplotách 180, 190, 200, 210, 220 $^\circ\text{C}$ (Wirkowska et al., 2012).

$$\ln \beta = a \frac{1}{T} + b \quad (6)$$

$$a = -0,4567 \frac{E_a}{RT} \quad (7)$$

$$b = -2,315 + \log(A \frac{E_a}{T}) \quad (8)$$

$$k = b \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (9)$$

Kde: T - teplota (K)

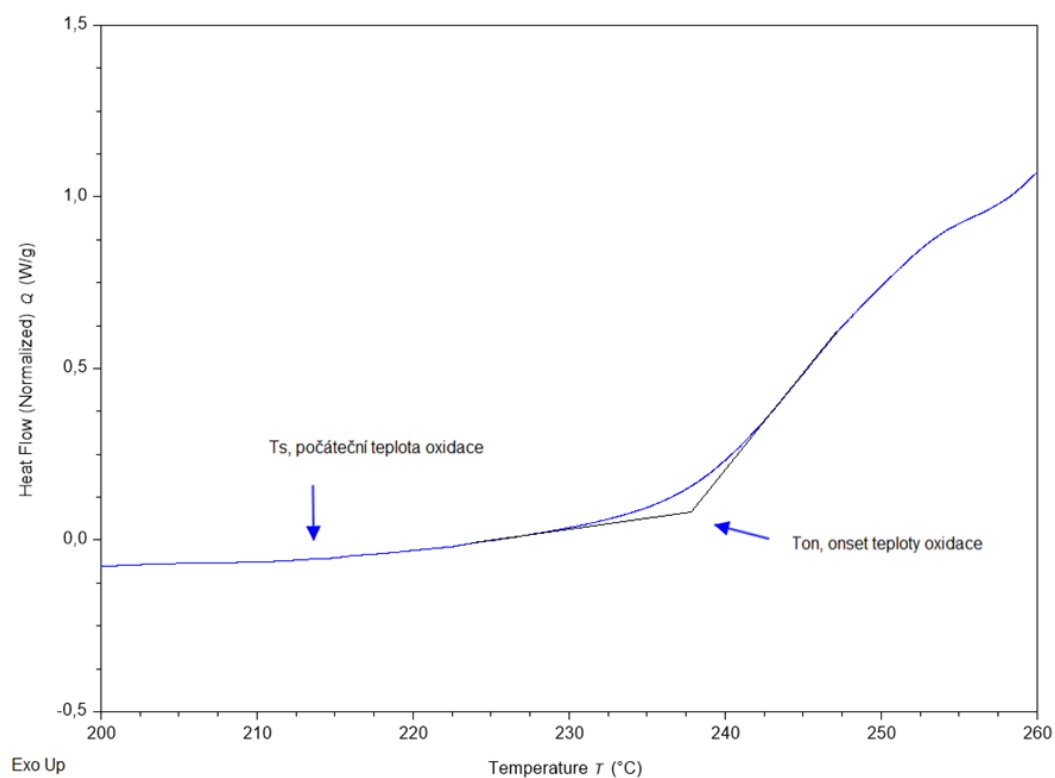
a - směrnice grafu $\ln \beta$ versus $1/T$

E_a - aktivační energie (J/mol)

R - molární plynová konstanta (8,314 J/mol K)

b - pre-exponenciální faktor

k - rychlostní konstanta.



Obrázek 8 Vyznačení parametrů T_s a T_{on} ne-izotermní oxidace tuků na DSC termogramu pro vzorek A1 10 °C/min (zdroj: vlastní)



Obrázek 9 Hliníková pánvička s extrahovaným tukem (zdroj: vlastní)

5.3.5 Instrumentální stanovení barvy

Barva masa je tradičně analyzována pomocí fotometrických a spektrofotometrických metod. K tomuto účelu se využívají externí měřicí zařízení, jako jsou povrchové spektrofotometry a kolorimetry, stejně jako interní optické sondy (Tomasevic et al., 2021). Pro hodnocení barvy masa se využívá systému $CIE L^*a^*b^*$, kde souřadnice L^* , a^* , b^* jsou definovány jako parametry určující polohu barvy v pravoúhlém barevném systému. Souřadnice L^* vyjadřuje světlost barvy a je zobrazena na vertikální ose, zatímco chromatickou rovinu tvoří osy a^* a b^* , které indikují zeleno-červený ($-a^*$ až $+a^*$) a modro-žlutý ($-b^*$ až $+b^*$) barevný tón.

Při měření barvy mohou nastat různé optické jevy, včetně reflexe (odrazu) světla z povrchu, refrakce (lomu) světla do struktury masa, transmise (průchodu světla skrz maso) a difuze. Měření barvy se neomezuje pouze na hodnocení vizuálních kvalitativních parametrů, ale slouží také jako indikátor obsahu pigmentů, stupně zpracování, stárnutí a zralosti masa. Dále umožňuje třídění masa do jakostních kategorií, posouzení jeho vlhkosti a případnou identifikaci nečistot či příměsí.

V České republice se měření a hodnocení barvy masa řídí normou ČSN 011718, která stanovuje metodiku měření, definované veličiny a jejich interpretaci, stejně jako využití soustavy CIE a dalších číselných soustav pro kvantifikaci barevných parametrů (Taub et al., 1998).

Postup stanovení:

Barva masa byla měřena na povrchu masa pomocí spektrofotometru Spectrophotometer UltraScan VIS (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA), s využitím

iluminantu D65/10 (standardní denní světlo pod úhlem 10°), který byl kalibrován na základě bílých a černých referenčních kachlíček a barevnost byla měřena v módu RSEX (bez lesku). Barevnost vzorku byla vyjádřena v souřadnicích dle $CIE\ L^*a^*b^*$ a barevné rozdíly ΔE^* (rovnice 10) byly vyhodnoceny vůči čerstvému masu a potom v průběhu skladování mezi vzorky ihned po vyjmutí ze zrací komory a na konci skladování (po 5-ti měsících). Průměrná hodnota ze dvou náhodných míst na každé straně, horní a dolní, byla použita pro statistickou analýzu (Kamiloğlu, et al., 2023, Alvaréz et al., 2023).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad (10)$$

kde index *ref* značí parametry pro čerstvé maso a pro sušené maso ihned po vyjmutí ze zrací komory.

5.4 Senzorická analýza masa

Vzorky masa byly hodnoceny v rámci senzorické analýzy, tedy s využitím vědecké disciplíny, která se zaměřuje na vyvolávání, měření a analýzu reakcí hodnotitelů na senzorické atributy potravin; dotyčné charakteristiky potravin jsou vnímány prostřednictvím zraku, čichu, chuti, sluchu a hmatu. Senzorická analýza hraje klíčovou roli v potravinářském průmyslu, včetně průmyslu zpracování masa a masných výrobků, neboť umožňuje objektivní hodnocení kvality masa a jeho organoleptických vlastností.

K senzorickému hodnocení byl využit preferenční test, jehož cílem je zjištění, kterému ze vzorků dávají hodnotitelé přednost z hlediska senzorické kvality, přijatelnosti či celkového dojmu.

Preferenční senzorická analýza byla realizována za účasti 10 hodnotitelů, kterým byly předloženy tři sady po třech vzorcích sušeného masa. Před samotnou analýzou byli hodnotitelé instruováni, aby se vyhnuli konzumaci potravin či nápojů výrazné chuti (např. káva, čaj, alkohol) a nekouřili, aby nedošlo k ovlivnění vjemů. Cílem bylo posoudit celkovou chuťovou přijatelnost jednotlivých vzorků, které měli hodnotitelé seřadit od nejpreferovanějšího vzorku (hodnota na pořadové stupnici 1) po nejméně preferovaný (hodnota 3).

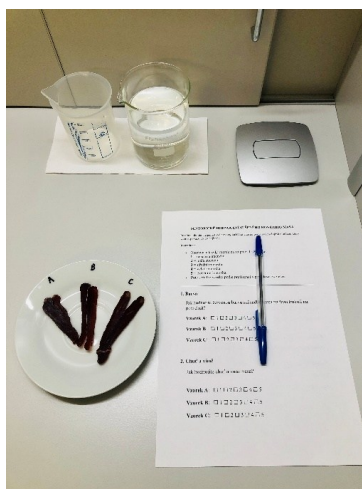
5.4.1 Stanovení senzorického hodnocení pořadovou zkouškou

K hodnocení senzorických vlastností sušeného masa byl využit preferenční test, jehož cílem nebylo primárně určit existenci rozdílů mezi jednotlivými vzorky, ale identifikovat, kterému

vzorku či vzorkům dávají hodnotitelé přednost z hlediska celkového sensorického dojmu – zejména chuti a přijatelnosti.

Senzorického hodnocení se zúčastnilo deset vybraných hodnotitelů, kterým byly předloženy tři sady po třech vzorcích sušeného masa. Před samotnou analýzou byli účastníci instruováni, aby alespoň jednu hodinu před testem nekonzumovali žádné výrazně chuťově ovlivňující potraviny a nápoje, zejména kávu, čaj, sladké nápoje či pokrmy s výrazným kořeněním, a aby se vyhnuli kouření. Každý hodnotitel měl za úkol seřadit vzorky dle osobního celkového chuťového dojmu, od nejvíce po nejméně preferovaný (Pokorný et al., 1998).

Pro statistické vyhodnocení výsledků sensorické analýzy byl použit Friedmanův test, který patří mezi pořadové neparametrické testy. Tento test umožňuje porovnat více vzorků stejného typu (např. sušené maso různých výrobních variant) z hlediska intenzity sledovaného sensorického znaku – v tomto případě celkové preference. V sensorických experimentech spočívá aplikace Friedmanova testu v tom, že každý z n hodnotitelů přiřadí hodnoceným vzorkům pořadí podle osobní preference (Kříž et al., 2007).



Obrázek 10 Sensorická analýza (zdroj: vlastní)

Friedmanův test slouží k ověření, zda mezi hodnocenými vzorky existují statisticky významné rozdíly v preferenci. Nulová hypotéza (H_0) předpokládá, že všechny vzorky byly hodnoceny podobně, tedy že mezi nimi nejsou významné rozdíly. Alternativní hypotéza (H_1) naopak tvrdí, že alespoň jeden vzorek se od ostatních významně liší. Tento test umožňuje posoudit, zda zjištěné rozdíly v hodnocení vzorků jsou pouze náhodné, nebo statisticky podložené.

$$FR = \frac{12}{n \cdot R \cdot (R + 1)} \cdot \sum Ti^2 - 3n(R + 1) \quad (11)$$

Kde n je počet hodnotitelů

R je počet hodnocených vzorků

Ti^2 je suma všech druhých mocnin součtu hodnocení pro daný vzorek

Zvolené testovací kritérium je na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Kritické hodnoty pro $Q_{1-\alpha}(R, n)$ byly přiřazeny z tabulky a tabelovaná hodnota pro $\alpha = 0,05$ je 6,17.

5.4.2 Statistické hodnocení intenzity senzorických znaků pomocí Kruskal-Wallisova testu

Jako vhodná metoda neparametrické statistiky umožňující srovnání senzorického znaku více než dvou vzorků, tj. v případě našeho hodnocení tří typů sušeného masa, byl vybrán Kruskal-Wallisův test. Kruskal Wallisův test ověřuje nulový předpoklad, že při výběru hodnoty z každé z „ n “ skupin bude mít každá z těchto skupin stejnou pravděpodobnost, že bude obsahovat nejvyšší hodnotu (Kruskal Wallis test calculator followed by post-hoc Dunn's test, 2017). Tento test sloužil k ověření shody úrovně spojitého znaku (tj. barvy, vůně a chuti, žvýkatelnosti a tuhosti) v R nezávislých výběrech. Dotyčný test byl využit k posouzení rozdílů intenzity u senzoricky vnímaných znaků stanovených za pomoci 5 bodové intenzitní ordinální stupnice, kde 1 = nepatrná intenzita, 5 = extrémní intenzita (Kříž et al., 2007).

6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE

6.1 Charakteristika čerstvého masa

Tabulka 1 Složení vzorků čerstvého hovězího masa (A0, B0, C0) a jejich pH.

	Čerstvé maso		
	A0	B0	C0
Obsah bílkovin (% hm.)	21,17 ± 0,45	20,52 ± 0,60	22,46 ± 0,16
Celkový obsah tuku (% hm.)	4,22 ± 1,11	3,84 ± 0,40	1,87 ± 0,36
Obsah vlhkosti (% hm.)	74,79 ± 0,29	76,12 ± 0,29	75,81 ± 0,24
Hodnota pH (-)	5,70 ± 0,02	5,71 ± 0,01	5,78 ± 0,02

Poznámka: Hodnoty jsou uvedeny jako aritmetický průměr ± směrodatná odchylka tří analýz. Označení vzorků čerstvého masa: A0 – vysoký roštěnec; B0 – květová špička; C0 – velká plec.

Tabulka prezentuje složení čerstvého hovězího masa, přičemž jsou porovnány hodnoty obsahu bílkovin, tuku, vlhkosti a pH mezi třemi vzorky (A0, B0, C0). Obsah bílkovin se pohybuje v rozmezí 20,52–22,46 % hm., přičemž nejnižší hodnota byla zaznamenána u vzorku B0 (20,52 ± 0,60 %), zatímco vzorek C0 vykazuje nejvyšší obsah bílkovin (22,46 ± 0,16 %). Tento rozdíl může být ovlivněn jak složením masa (např. podílem svaloviny), tak případnými rozdíly v chovu a krmné dietě zvířat.

Celkový obsah tuku mezi jednotlivými vzorky vykazuje značné rozdíly. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána u vzorku A0 (4,22 ± 1,11) %, zatímco nejnižší obsah tuku byl naměřen ve vzorku C0 (1,87 ± 0,36) %. Tento rozdíl může být způsoben odlišným zastoupením tukového podílu v jednotlivých vzorcích. Nižší obsah tuku ve vzorku C0 naznačuje, že by se mohlo jednat o libovější variantu hovězího masa.

Obsah vlhkosti je relativně stabilní mezi vzorky a pohybuje se v rozmezí 74,79–76,12 % hm. Nejnižší hodnota byla zjištěna u vzorku A0 (74,79 ± 0,29) %, zatímco nejvyšší u vzorku B0 (76,12 ± 0,29) %. Vyšší obsah vlhkosti může souviset s typem a morfologií svalové tkáně.

Naměřené hodnoty pH se pohybují mezi 5,70–5,78, což odpovídá běžným hodnotám čerstvého hovězího masa. Vzorek C0 vykazuje mírně vyšší hodnotu pH (5,78 ± 0,02), což může naznačovat odlišnosti v metabolismu zvířete před porážkou nebo rozdíly v postmortálních procesech, například ve stupni rozkladu glykogenu na kyselinu mléčnou.

Vzorek C0 se vyznačuje nejvyšším obsahem bílkovin a nejnižším obsahem tuku, což jej činí potenciálně výživnější volbou pro konzumenty preferující libové maso. Vzorek B0 má nejvyšší obsah vlhkosti, což může naznačovat vyšší hydrataci svalových vláken. Hodnoty pH jsou ve všech vzorcích v normálním rozmezí, avšak mírné rozdíly mohou naznačovat odlišné postmortální procesy. Celkově výsledky ukazují rozdíly závislé na typu a morfologii hovězího masa, která může být ovlivněna různými faktory, včetně plemene, výživy a zpracování masa.

6.2 Výsledky procesu sušení masa

6.2.1 Kinetika sušení masa

Výsledky úbytku hmotnosti *před* a *po* sušení jsou uvedeny v Tabulce č. 2. Úbytek vlhkosti v čase byl stanoven pomocí parametru D_{eff} , jenž je závislý na rozměrech masa, teplotě sušení a vlhkosti ve zrací komoře. Hodnoty D_{eff} se pohybovaly v rozmezí od $9,82 \times 10^{-11}$ do $1,10 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

Tabulka 2 Hmotnost a rozměry vzorků masa (délka × výška × tloušťka) před sušením a po 20 dnech sušení, vypočítané hodnoty D_{eff} .

Vzorky	Hmotnost vzorku před sušením (g)	Rozměry vzorku před sušením (cm)	Hmotnost vzorku po sušení (g)	Rozměry vzorku po sušení (cm)	D_{eff} (m ² /s)
A1	303,8	14,8x10,3x2,7	143,75	16,0x7,1x2,1	$1,31 \times 10^{-10}$
A2	299,2	16,8x9,7x2,3	136,82	18,8x5,1x1,5	$9,54 \times 10^{-11}$
A3	282,9	19,6x10,2x1,9	120,22	22,2x4,0x1,0	$7,32 \times 10^{-11}$
A4	306,7	21,9x9,7x1,6	131,99	23,0x4,8x1,2	$5,19 \times 10^{-11}$
A5	307,4	22,7x9,2x2,0	134,38	26,0x6,7x1,7	$7,66 \times 10^{-11}$
A6	286,8	14,7x8,1x2,9	136,36	19,0x5,2x1,4	$1,42 \times 10^{-10}$
A7	260	19,2x8,8x2,3	124,92	18,0x5,2x1,8	$8,94 \times 10^{-11}$
A8	344,7	21,8x9,3x2,4	155,92	23,2x5,7x1,9	$1,10 \times 10^{-10}$
B1	232,6	16,2x11,0x2,6	108,27	16,2x6,6x2,0	$1,21 \times 10^{-10}$
B2	294	16,8x13,2x1,7	123,31	20,5x7,6x1,1	$6,19 \times 10^{-11}$
B3	370,7	20,6x12,7x1,9	169,22	19,4x8,2x1,8	$6,51 \times 10^{-11}$
B4	392,2	17,3x14,4x2,3	179,74	16,4x9,8x2,3	$9,50 \times 10^{-11}$
B5	283	19,2x10,3x1,9	128,23	16,4x6,9x1,4	$6,91 \times 10^{-11}$
B6	455	21,3x12,6x2,4	218,31	22,3x8,4x1,9	$1,04 \times 10^{-10}$
B7	296,3	18,4x13,2x2,2	123,67	21,1x6,6x1,5	$9,82 \times 10^{-11}$
B8	393	22,3x13,1x2,0	168,4	22,4x7,8x1,5	$8,11 \times 10^{-11}$
C1	390,3	13,7x17,3x2,6	183,28	20,4x8,4x1,8	$1,21 \times 10^{-10}$
C2	401,3	16,6x14,7x2,1	185,9	18,8x11,0x1,3	$7,95 \times 10^{-11}$
C3	322,3	15,8x12,5x2,4	143,54	15,7x9,1x1,5	$1,10 \times 10^{-10}$

C4	344,3	13,4x18,3x1,8	143,39	18,5x7,5x1,1	$6,57 \times 10^{-11}$
C5	325,7	12,8x16,5x1,6	140,75	12,7x8,3x0,8	$4,90 \times 10^{-11}$
C6	353,7	14,0x14,0x2,0	170,3	14,8x9,7x1,5	$7,21 \times 10^{-11}$
C7	365,5	17,3x14,8x1,5	157,67	21,5x8,4x1,4	$4,56 \times 10^{-11}$
C8	296,2	14,5x12,9x2,2	142,96	13,3x9,8x1,6	$8,18 \times 10^{-11}$

Pozn.: A – vysoký roštětec, B – květová špička, C – vysoká plec.

6.2.2 Stanovení aktivity vody

Tabulka 3 Aktivita vody (a_w) sušených vzorků masa (A1, B1, C1) po 1 měsíci v komoře pro zrání.

	A1	B1	C1
$a_w (-)$	$0,8277 \pm 0,0013$	$0,8735 \pm 0,0012$	$0,8846 \pm 0,0018$

Naměřené hodnoty aktivity vody (a_w) u sušeného masa po jednom měsíci skladování se pohybovaly mezi $0,8277 \pm 0,0013$ (vzorek A1) a $0,8846 \pm 0,0018$ (vzorek C1). Přestože všechny vzorky byly sušeny za identických podmínek (stejná doba, teplota) vykazují mírné rozdíly v hodnotách a_w . Tyto odchylky mohou být důsledkem přirozené variability ve složení čerstvého masa – například rozdílů v obsahu tuku, vlhkosti nebo svalové struktuře mezi jednotlivými vzorky.

Vzorek A1 s nejnižší aktivitou vody dosahuje hodnoty pod 0,83, což svědčí o vyšší mikrobiologické stabilitě. Vzorky B1 a C1, s hodnotami nad 0,87, jsou sice stále pod obecně uznávanou hranicí 0,90 pro růst většiny patogenních mikroorganismů, avšak z hlediska dlouhodobé trvanlivosti mohou být mírně méně stabilní než vzorek A1.

Rozdíly v a_w při jinak standardizovaném zpracování naznačují, že výběr suroviny a rozměry a hmotnost vzorku mohou mít významný vliv na výslednou stabilitu sušeného masa, i když je aplikována jednotná technologická metoda. Podobný závěr uvádějí i jiní autoři, podle nichž může aktivita vody výrazně kolísat v závislosti na výchozí kvalitě masa, i při aplikaci stejných technologických parametrů (Zhou et al., 2010).

6.2.3 Stanovení thiobarbiturového čísla

Hodnoty thiobarbiturového čísla (TBARS) sledovaných vzorků A, B, a C během skladování ukazují charakteristický průběh oxidace lipidů. Na začátku experimentu byly koncentrace

malondialdehydu (MDA) u všech vzorků velmi nízké, což odpovídá čerstvému stavu produktu s minimální oxidací. Během prvního měsíce došlo ke znatelnému nárůstu TBARS hodnot, přičemž nejvyšší hodnoty byly zaznamenány přibližně ve 2.–3. měsíci skladování. Analýza TBARS měří množství MDA vzniklého v důsledku oxidace lipidů za přítomnosti světla, tepla a katalytických sloučenin přechodných kovů (Min a Ahn, 2005; Domínguez et al., 2019). Vzhledem k tomu, že hovězí maso je bohaté na železo, vysoké hodnoty MDA ve 2. měsíci by mohly souviset s oxidací lipidů v důsledku zbytkového kyslíku. Maximální hladiny MDA dosáhly všechny vzorky kolem třetího měsíce, přičemž vzorek A vykazoval nejvyšší míru oxidace, zatímco C měl konzistentně nejnižší hodnoty během celého sledovaného období. Rozdíly mezi vzorky mohou být způsobeny variabilitou v obsahu nasycených a nenasycených mastných kyselin, rozdílnou chemickou skladbou lipidů, případně odlišnou aktivitou přítomných antioxidantů. Po pěti měsících skladování bylo patrné snížení TBARS hodnot u všech vzorků, což může souviset s dále probíhající degradací sekundárních oxidačních produktů, jejich interakcí s jinými složkami matrice (např. proteiny). Uvedený jev lze vysvětlit tím, že MDA v průběhu času podléhá samovolné degradaci nebo může reagovat s bílkovinami a aminokyselinami za vzniku produktů, které analýza TBARS nedokáže detekovat (Kebede et al., 1998). To dokazuje i skutečnost, že konečné hodnoty po pěti měsících skladování byly výrazně nižší než maximální hodnoty dosažené v polovině skladování, přičemž vzorek C opět vykazoval nejnižší míru oxidace. Statisticky významné rozdíly mezi vzorky naznačují, že odolnost sušeného masa vůči oxidaci během skladování je ovlivněna nejen skladovacími podmínkami, ale také složením a fyzikálně-chemickými vlastnostmi samotných vzorků. Pozorovaný průběh změn TBARS hodnot v průběhu skladování je v souladu se zjištěními jiných autorů, kteří popisují akumulaci a následnou degradaci sekundárních produktů lipidové oxidace, jako je malondialdehyd, během uchovávání masných výrobků (Fernandez et al., 1997; Faustman et al., 2010). Výsledky tedy potvrzují, že skladování ovlivňuje stupeň oxidace tuků v sušeném hovězím mase, a podtrhují důležitost optimalizace podmínek a doby skladování s cílem minimalizovat degradaci kvality produktu.

Tabulka 4 Obsah malondialdehydu stanovený metodou TBARs ve vzorcích čerstvého a sušeného masa po 1 až 5 měsících skladování

Obsah malondialdehydu (mg/kg)		
Čerstvé maso		
A0	B0	C0
0,030 ± 0,006	0,015 ± 0,001	0,049 ± 0,018
Po 1 měsíci		
A1	B1	C1
0,097 ± 0,012	0,171 ± 0,006	0,183 ± 0,021
Po 2 měsících		
A2	B2	C2
0,988 ± 0,184	1,157 ± 0,221	0,942 ± 0,095
Po 3 měsících		
A3	B3	C3
1,461 ± 0,059	1,242 ± 0,109	1,167 ± 0,095
Po 5 měsících		
A5	B5	C5
1,313 ± 0,069	0,357 ± 0,007	0,407 ± 0,060

Pozn.: Hodnoty obsahu malondialdehydu jsou prezentovány jako aritmetický průměr ± směrodatná odchylka ze tří stanovení.

6.2.4 Oxidace lipidů masa pomocí DSC

Tabulka 5 Teploty počátku oxidace (T_{on}) při různých rychlostech ohřevu (β) tuku extrahovaného ze sušených vzorků masa.

	Onset teploty oxidace lipidů, T_{on}		
Rychlost ohřevu β (°C/min)	Po 1 měsíci		
	A1	B1	C1
2.0	215,37 ± 0,26	228,60 ± 1,56	234,84 ± 0,35
5.0	229,11 ± 1,02	242,82 ± 0,11	246,66 ± 0,13
10.0	242,02 ± 1,08	253,41 ± 0,02	256,64 ± 0,13
15.0	252,03 ± 1,64	258,08 ± 0,07	261,90 ± 0,03
20.0	258,04 ± 1,14	260,30 ± 0,03	266,00 ± 0,54
	Po 2 měsících		
	A2	B2	C2
2.0	230,89 ± 1,25	232,90 ± 0,14	239,05 ± 0,34
5.0	244,02 ± 0,31	248,80 ± 1,20	251,31 ± 1,11
10.0	257,20 ± 0,16	258,63 ± 0,11	259,10 ± 1,58
15.0	263,04 ± 0,06	263,55 ± 0,17	267,98 ± 0,73
20.0	267,25 ± 0,10	270,44 ± 1,73	271,64 ± 1,66
	Po 3 měsících		
	A3	B3	C3
2.0	207,39 ± 0,04	228,84 ± 1,99	236,54 ± 0,58
5.0	220,05 ± 1,71	244,72 ± 0,37	251,75 ± 0,13
10.0	230,62 ± 1,51	255,44 ± 0,92	262,09 ± 0,24
15.0	239,23 ± 2,00	261,15 ± 0,25	271,31 ± 1,09
20.0	243,00 ± 0,43	269,15 ± 1,54	276,32 ± 0,14
	Po 5 měsících		
	A5	B5	C5
2.0	209,64 ± 1,32	229,09 ± 0,83	233,60 ± 0,68
5.0	222,30 ± 1,20	242,73 ± 1,36	245,90 ± 0,88
10.0	233,50 ± 0,04	252,57 ± 1,53	255,13 ± 1,89

15.0	237,49 ± 0,66	260,84 ± 1,55	260,50 ± 0,68
20.0	247,08 ± 0,02	265,18 ± 1,98	268,50 ± 1,08

Poznámka: Hodnoty jsou uvedeny jako aritmetický průměr ± směrodatná odchylka tří měření. Označení vzorků: A – Vysoký roštěnec; B – Květová špička; C – Velká plec.

Tabulka 5 prezentuje teploty počátku oxidace (T_{on}) tuku extrahovaného ze sušených vzorků masa při různých rychlostech ohřevu, stanovené pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC). Hodnoty jsou uvedeny v závislosti na době skladování vzorků a na rychlosti ohřevu (β) v rozmezí 2,0–20,0 °C/min.

Obecně platí, že s rostoucí rychlostí ohřevu dochází ke zvýšení teploty počátku oxidace tuku ve všech vzorcích. Tento trend je patrný napříč všemi skladovacími obdobími a odpovídá očekávanému chování lipidů, kdy vyšší rychlost ohřevu posouvá oxidaci na vyšší teplotní intervaly.

Skladovací doba ovlivňuje stabilitu tuku. Po jednom měsíci jsou teploty oxidace obecně vyšší než po delším skladování. Po třech a pěti měsících dochází u některých vzorků ke snížení hodnot (T_{on}), což může naznačovat postupnou degradaci lipidů a zvyšující se náchylnost k oxidaci. Podobný pokles stability byl pozorován v několika studiích, které se zaměřovaly na vliv skladovacích podmínek na oxidační stabilitu tuků. Tento trend bývá spojován s kumulativním působením oxidačních procesů, které postupně narušují strukturu lipidů (Islam et al., 2023). Mihociu et al. (2018) rovněž prokázali, že prodloužené skladování sušeného masa vede k významnému snížení oxidační stability tukové frakce, což bylo doloženo poklesem teplot počátku oxidace stanovených metodou DSC. Autoři uvedli, že ke změnám dochází v důsledku autooxidačních procesů, degradace nenasycených mastných kyselin a ztráty přirozených antioxidantů, přičemž DSC představuje vhodný nástroj pro jejich sledování.

Porovnání mezi jednotlivými vzorky (A, B a C) odhaluje rozdíly v teplotách oxidace. Vzorek C vykazuje nejvyšší hodnoty (T_{on}) ve všech měřených obdobích, což naznačuje jeho vyšší odolnost vůči oxidaci ve srovnání s ostatními vzorky. To může být dáno vyšším podílem nenasycených mastných kyselin ve vzorku C, jejichž oxidační štěpení je energeticky náročnější. Naproti tomu vzorek A dosahuje nejnižších hodnot (T_{on}), zejména po delším skladování, což může být důsledkem vyššího obsahu nenasycených mastných kyselin, které jsou náchylnější k oxidaci.

Celkově lze konstatovat, že rychlost ohřevu DSC významně ovlivňuje teploty počátku oxidace tuku. Významnou roli v oxidačním procesu hraje zvláště podíl nasycených a nenasycených mastných kyselin ve vzorcích masa. Delší skladování může vést ke snížení stability lipidů, přičemž rozdíly mezi vzorky mohou souviset s variabilitou ve složení mastných kyselin nebo s odlišným technologickým zpracováním masa před sušením. Obdobné výsledky byly zaznamenány i v jiných vědeckých studiích, které rovněž potvrzují vliv složení mastných kyselin na jejich oxidační stabilitu (Wirkowska et al., 2019).

DSC jako nástroj umožňuje kvantifikovat teplotní parametry oxidace s vysokou citlivostí a reprodukovatelností, což je důležité právě při monitorování změn ve stabilitě lipidů během skladování. Proto je pozorované snížení hodnot (T_{on}) s delší dobou skladování dobře interpretovatelné jako důsledek oxidační odolnosti zkoumaných tuků.

Tabulka 6 Parametry oxidace lipidů pro extrahovaný tuk ze sušených vzorků masa vyhodnocené podle Ozawa-Flynn-Wallova modelu.

Tuk ze vzorků sušeného masa			
	Po 1 měsíci		
Parametry	A1	B1	C1
E_a (kJ/mol)	109,47 ± 1,97	149,09 ± 3,65	159,42 ± 0,17
Z (min ⁻¹)	$6,85 \times 10^{10}$	$4,57 \times 10^{14}$	$3,73 \times 10^{15}$
R^2	0,9946	0,9900	0,9997
k at 180 °C (min ⁻¹)	0,0165	0,0030	0,0016
k at 190 °C (min ⁻¹)	0,0309	0,0070	0,0039
k at 200 °C (min ⁻¹)	0,0564	0,0159	0,0094
k at 210 °C (min ⁻¹)	0,1003	0,0349	0,0218
k at 220 °C (min ⁻¹)	0,1743	0,0741	0,0487
	Po 2 měsících		
Parametry	A2	B2	C2
E_a (kJ/mol)	133,44 ± 0,12	137,27 ± 1,96	154,93 ± 1,73
Z (min ⁻¹)	$9,45 \times 10^{12}$	$1,92 \times 10^{13}$	$9,48 \times 10^{14}$
R^2	0,9975	0,9943	0,993
k at 180 °C (min ⁻¹)	0,0039	0,0029	0,0013
k at 190 °C (min ⁻¹)	0,0085	0,0064	0,0032
k at 200 °C (min ⁻¹)	0,0176	0,0135	0,0075
k at 210 °C (min ⁻¹)	0,0355	0,0278	0,0169
k at 220 °C (min ⁻¹)	0,0696	0,0556	0,037
	Po 3 měsících		
Parametry	A3	B3	C3
E_a (kJ/mol)	124,66 ± 1,32	126,80 ± 0,51	128,40 ± 0,68
Z (min ⁻¹)	$5,08 \times 10^{12}$	$2,01 \times 10^{12}$	$1,86 \times 10^{12}$

R^2	0,9971	0,9954	0,9978
k at 180 °C (min ⁻¹)	0,0218	0,0049	0,0030
k at 190 °C (min ⁻¹)	0,0445	0,0101	0,0062
k at 200 °C (min ⁻¹)	0,0881	0,0202	0,0125
k at 210 °C (min ⁻¹)	0,1698	0,0394	0,0245
k at 220 °C (min ⁻¹)	0,3186	0,0748	0,0469
Po 5 měsících			
Parametry	A5	B5	C5
E_a (kJ/mol)	126,20 ± 1,09	136,02 ± 0,81	148,03 ± 1,69
Z (min ⁻¹)	$6,56 \times 10^{12}$	$1,93 \times 10^{13}$	$2,69 \times 10^{14}$
R^2	0,9868	0,9983	0,9906
k at 180 °C (min ⁻¹)	0,0186	0,0041	0,0023
k at 190 °C (min ⁻¹)	0,0384	0,0088	0,0055
k at 200 °C (min ⁻¹)	0,0768	0,0187	0,0123
k at 210 °C (min ⁻¹)	0,1491	0,0382	0,0268
k at 220 °C (min ⁻¹)	0,2820	0,0758	0,0565

Poznámka: E_a - aktivační energie procesu oxidace lipidů (kJ/mol); Z – pre-exponenciální faktor (min⁻¹), k - rychlostní konstanta reakce (min⁻¹) analyzovaná v rozmezí oxidačních teplot (180-220) °C. Hodnoty aktivační energie představují průměr ± směrodatnou odchylku stanovenou lineární regresní analýzou dat s koeficientem determinace R^2 . Označení vzorků: A – vysoký roštětec; B – květová špička; C – velká plec.

Hodnoty aktivační energie (E_a) se během sledovaného období skladování pohybovaly v rozmezí od 109,47 kJ/mol (A1, po 1 měsíci) do 159,42 kJ/mol (C1, po 1 měsíci). Nejvyšší hodnoty byly pozorovány v počátečních fázích skladování, především u vzorku C1, což ukazuje na vyšší stabilitu lipidových složek vůči oxidačním změnám. V průběhu času se rozdíly mezi jednotlivými vzorky zmenšovaly. Například po třech měsících se hodnoty E_a pohybovaly v užším intervalu mezi 124,66 kJ/mol (A3) a 128,40 kJ/mol (C3), což může naznačovat určitou stabilizaci oxidačních procesů nebo homogenizaci degradačních změn v lipidové frakci. Po pěti měsících skladování se hodnoty aktivační energie opět mírně

změnily, od 126,20 kJ/mol (A5) do 148,03 kJ/mol (C5), přičemž vzorek C5 vykazoval nejvyšší stabilitu vůči oxidaci.

Podobný trend byl pozorován i u hodnot pre-exponenciálního faktoru (A), které se rovněž měnily v závislosti na délce skladování. Nejvyšší hodnoty byly opět zaznamenány u vzorků s vyšší aktivační energií, tedy u vzorků typu C. Po jednom měsíci dosahoval

pre-exponenciální faktor hodnot od $6,85 \times 10^{10} \text{ min}^{-1}$ (A1) do $3,73 \times 10^{15} \text{ min}^{-1}$ (C1), přičemž podobný rozsah byl zachován i po dvou měsících, kdy se pohyboval od $9,45 \times 10^{12} \text{ min}^{-1}$ (A2) do $9,48 \times 10^{14} \text{ min}^{-1}$ (C2). Po třech měsících se hodnoty pre-exponenciálního faktoru ustálily v užším rozmezí od $1,86 \times 10^{12} \text{ min}^{-1}$ (C3) do $5,08 \times 10^{12} \text{ min}^{-1}$ (A3), což může reflektovat sníženou variabilitu reakčních podmínek nebo produktů oxidace. Po pěti měsících se rozsah opět rozšířil, s hodnotami mezi $6,56 \times 10^{12} \text{ min}^{-1}$ (A5) a $2,69 \times 10^{14} \text{ min}^{-1}$ (C5). Vyšší hodnoty tohoto faktoru naznačují vyšší frekvenci molekulárních srážek vedoucích k oxidaci, avšak vzhledem k současně vysoké hodnotě E_a nemusí nutně znamenat zvýšenou rychlost reakce.

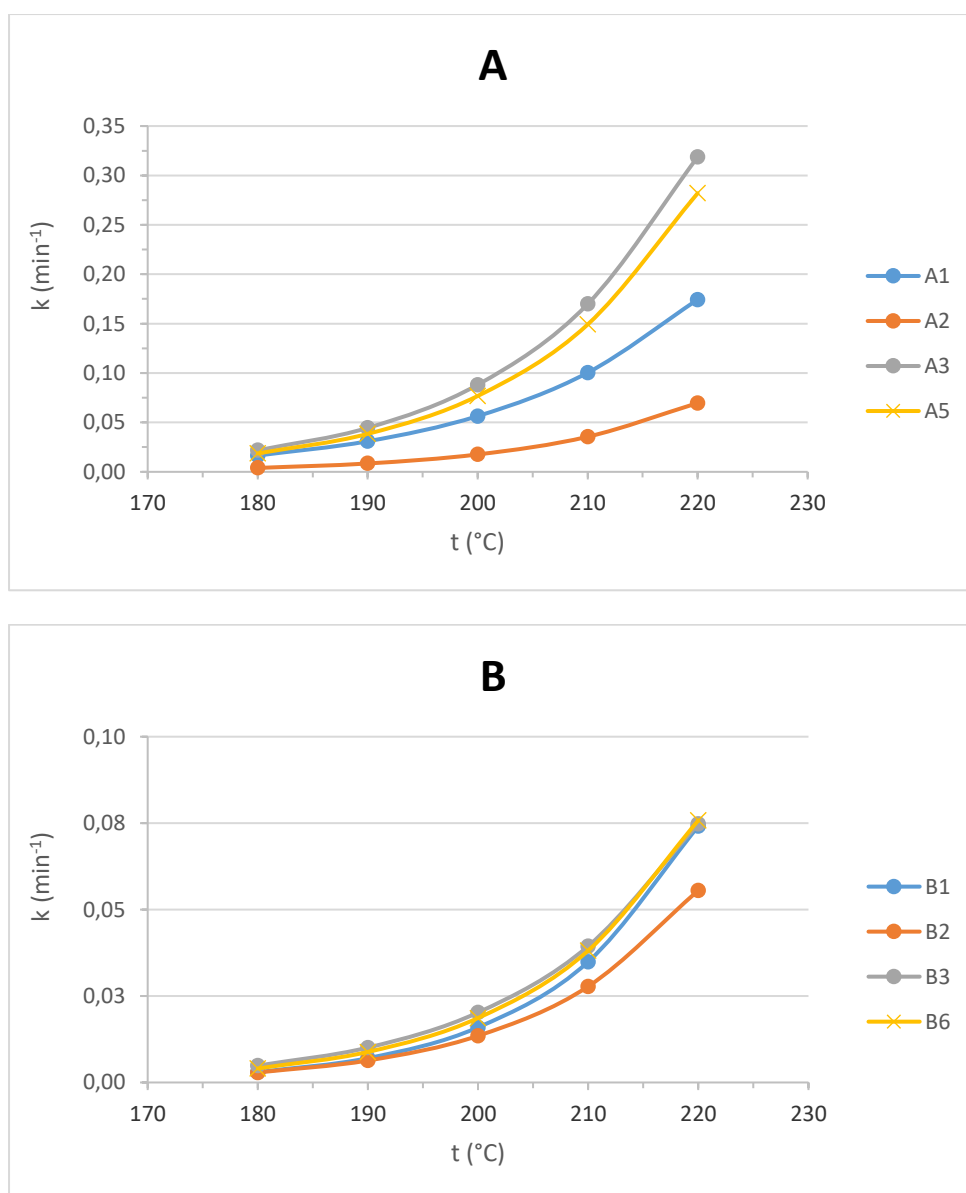
Rychlostní konstanty (k) vykazovaly ve všech časových obdobích očekávaný nárůst s rostoucí teplotou. Například u vzorku A1 se hodnota rychlostní konstanty zvýšila z $0,0165 \text{ min}^{-1}$ při 180 °C na $0,1743 \text{ min}^{-1}$ při 220 °C. U vzorku A2 byl pozorován nárůst z $0,0039 \text{ min}^{-1}$ na $0,0696 \text{ min}^{-1}$, což odpovídá literatuře, podle níž dochází ke zrychlení oxidačních reakcí s rostoucí teplotou (Wirkowska et al., 2012). U vzorku A3 vzrostla hodnota z $0,0218 \text{ min}^{-1}$ na $0,3186 \text{ min}^{-1}$. Tyto výsledky potvrzují teplotní závislost kinetiky oxidace lipidů, přičemž vyšší teploty významně urychlují degradační procesy.

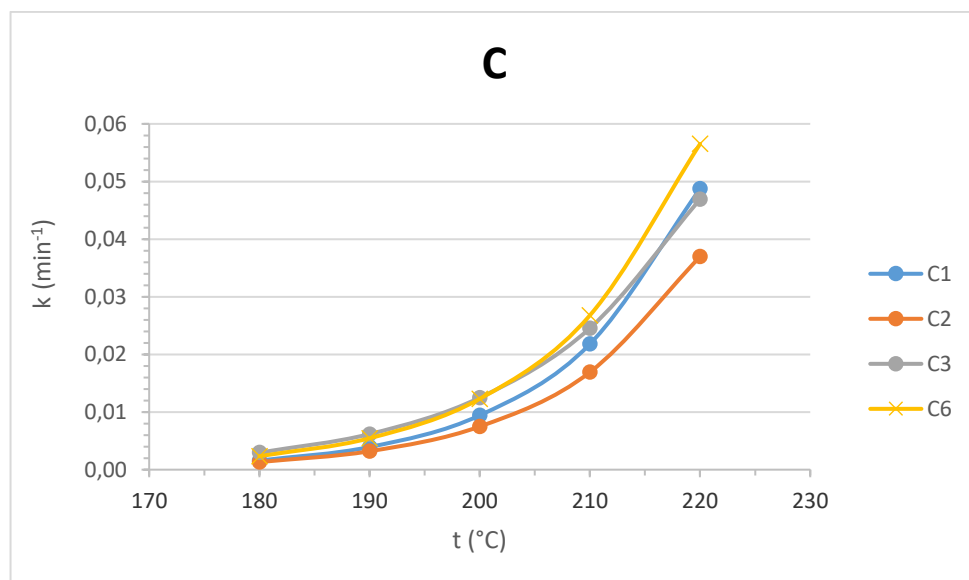
Hodnoty koeficientu determinace R^2 se ve všech případech pohybovaly ve vysokém rozmezí, konkrétně mezi 0,9868 a 0,9997. Tyto hodnoty indikují, že Ozawa-Flynn-Wallův model je velmi vhodný pro popis kinetiky oxidace lipidů v těchto vzorcích. Nejvyšší shoda byla pozorována především po jednom a třech měsících skladování, zatímco po pěti měsících došlo k mírnému poklesu hodnot R^2 . Tato změna může být vysvětlena vznikem sekundárních degradačních produktů nebo počátkem autolytických procesů v masové matrici, jak uvádí například Hrabě et al. (2007).

Celkově lze konstatovat, že kinetické parametry oxidace tuků a olejových složek ve vzorcích vykazují konzistentní trendy v závislosti na délce skladování i teplotě. Vyšší aktivační energie a pre-exponenciální faktory u vzorků C svědčí o jejich vyšší stabilitě vůči oxidačním změnám, přičemž využití Ozawa-Flynn-Wallova modelu prokázalo svou spolehlivost při hodnocení degradačních procesů lipidů během skladování.

Srovnatelné závěry byly pozorovány také ve studii Thurgood et al. (2007), kde bylo využito Ozawa–Flynn–Wallova modelu k vyhodnocení oxidace směsí sójového a mléčného tuku pomocí DSC. I zde bylo potvrzeno, že vyšší aktivační energie E_a odpovídá vyšší stabilitě vůči oxidaci, přičemž hodnoty E_a se významně měnily v závislosti na složení a stupni oxidace lipidů. Studie zároveň ukázala spolehlivost této metody pro hodnocení oxidační stability tuků v potravinářských systémech.

Rychlostní konstanta oxidace má nejvyšší hodnoty pro vzorky A, kde s časem skladování narůstá. Potom následuje vzorek B a nejnižší hodnoty (k) má vzorek C, kde u obou můžeme pozorovat nižší nárůst hodnot (k) v čase skladování, jak je patrné z Obrázku 11.





Obrázek 11 Závislost rychlostní konstanty na teplotě v čase skladování, pro různé vzorky.

Z výsledků je patrné, že stabilita lipidů vůči oxidaci se liší mezi jednotlivými vzorky a mění se v průběhu času. Vzorky s vyšší aktivační energií vykazují relativně větší oxidační stabilitu. Pre-exponenciální faktor a rychlostní konstanty poskytují další informace o kinetice oxidace lipidů. Rychlostní konstanta oxidace má nejvyšší hodnoty pro vzorky A, kde s časem skladování narůstá. Potom následuje vzorek B a nejnižší hodnoty (k) má vzorek C, kde u obou můžeme pozorovat nižší nárůst hodnot (k) v čase skladování. Mezi vzorky A, B a C jsou statisticky významné rozdíly v kinetických parametrech. Výsledky ukazují, že vzorek C je nejméně náchylný k oxidaci lipidů a má tedy nejvyšší oxidační stabilitu v průběhu doby skladování. Vysoké hodnoty koeficientu determinace potvrzují spolehlivost použitého kinetického modelu. Tyto výsledky mohou být využity k optimalizaci skladování, balení a zpracování masných výrobků, aby se minimalizovala oxidace lipidů a prodloužila trvanlivost produktů.

6.2.5 Stanovení tvrdosti sušeného masa

Tabulka 7 Hodnoty tvrdosti vzorků sušeného masa analyzované Warner-Bratzlerovou zkouškou smykové síly.

	Tvrdost (N)			
Sušené maso	Po 1 měsíci	Po 2 měsících	Po 3 měsících	Po 5 měsících
vzorek				
A	113,04 ± 8,45	88,89 ± 15,14	121,11 ± 10,90	328,90 ± 21,71
B	232,09 ± 38,94	158,51 ± 32,91	216,29 ± 18,70	119,85 ± 11,79
C	210,34 ± 18,61	96,78 ± 11,37	151,39 ± 3,31	106,46 ± 13,43

Poznámka: Hodnoty jsou uvedeny jako aritmetický průměr ± směrodatná odchylka tří měření. Označení vzorků: A – vysoký roštěnec; B – květová špička; C – velká plec.

Tabulka prezentuje změny tvrdosti sušeného masa během skladování, měřené Warner-Bratzlerovou zkouškou smykové síly. Hodnoty jsou uvedeny jako průměrné síly potřebné k přerážnutí vzorku v newtonech (N) s odpovídající směrodatnou odchylkou. Tvrdost jednotlivých vzorků se v průběhu skladování mění, avšak vzorce těchto změn nejsou jednotné napříč vzorky. U většiny vzorků tedy nelze generalizovat vztah mezi tvrdostí svalových vláken a dobou skladování masa.

Vzorek A vykazuje relativně nízkou tvrdost v prvních třech měsících, ale po pěti měsících dochází k jejímu výraznému nárůstu (328,90 N). Tento jev může být způsoben pokračujícím úbytkem vlhkosti, zvýšením pevnosti proteinové matrice nebo možnou polymerizací bílkovin, což vede ke ztuhnutí tkáně.

Vzorek B má nejvyšší tvrdost po jednom měsíci (232,09 N), ale poté dochází k jejímu postupnému snižování. Po pěti měsících dosahuje tvrdost 119,85 N, což je méně než polovina počáteční hodnoty. Tento pokles může být spojen s proteolytickou degradací masa (rozvolňováním svalové tkáně) nebo redistribucí vlhkosti, která ovlivňuje strukturu masa.

Vzorek C vykazuje podobný trend jako vzorek B – z počáteční tvrdosti 210,34 N dochází k mírnému poklesu po dvou měsících (96,78 N), po třech měsících následuje částečný nárůst (151,39 N) a po pěti měsících je tvrdost relativně stabilní (106,46 N). Tento vývoj může být způsoben působením navzájem protikladných procesů dehydratace a proteolytické degradace.

Tvrdost sušeného masa je ovlivněna řadou faktorů, které se během skladování mohou různě uplatňovat. Tvrdost masa obvykle koreluje s obsahem vody – dehydratace vede k vyšší tuhosti tkáně, zatímco zvýšení obsahu volné vody může způsobit její změkčení. Výrazný nárůst tvrdosti u vzorku A po pěti měsících naznačuje pokračující úbytek vlhkosti. Během skladování mohou probíhat změny v proteinové matici, včetně denaturace a možného zesíťování myofibrilárních proteinů, což vede ke zvýšení tvrdosti. Tento jev by mohl vysvětlovat významný nárůst tvrdosti u vzorku A. Rozvolnění svalových vláken sušeného masa může vést ke změkčení masa. Tento proces je patrný zejména u vzorků B a C, které po pěti měsících vykazují nižší tvrdost oproti prvnímu měření.

I po pěti měsících skladování nedošlo k proteolytické degradaci masa, byla pozorována jen oxidace tuků masa, které způsobují pokles tvrdosti. Výrazné zvýšení tvrdosti u vzorku A naznačuje dominanci dehydratace a možné změny v proteinové struktuře, zatímco pokles tvrdosti u vzorků B a C může být důsledkem rozdílného složení, velikosti vzorků masa a rychlosti sušení – *Deff*. Tyto výsledky ukazují na komplexní charakter změn textury sušeného masa během skladování, přičemž každá matrice reaguje odlišně v závislosti na svém složení a technologickém zpracování.

Studie publikovaná v *Journal of Muscle Foods* zkoumala fyzikální, chemické a senzorické vlastnosti různých druhů jerky. Výsledky ukázaly, že jerky z emu vyžadovalo nejvyšší smykovou sílu podle Warner-Bratzlerova testu, následované hovězím a krutím jerky. To naznačuje, že druh masa (jeho složení) významně ovlivňuje tvrdost sušeného produktu (Carr et al., 1997). Podobné trendy byly pozorovány ve studii o sušeném vepřovém mase v porovnání se sušeným masem hovězím, kde během skladování sušeného masa (jerky) dochází k nárůstu tvrdosti produktu, což autoři částečně přisuzují oxidaci lipidů – sledovanou pomocí TBARS (thiobarbiturového čísla). Vyšší hodnoty TBARS totiž indikují vyšší míru lipidové oxidace, která může ovlivnit strukturu masa – např. zpevněním bílkovinné matrice či ztrátou vlhkosti, což následně přispívá ke zvýšení texturální tuhosti (Yang et al., 2009).

Poznatky vědecké literatury potvrzují, že složení a fyzikální vlastnosti masa předurčují jeho texturní tvrdost. Warner-Bratzlerova smyková síla (WBSF) představuje jeden z běžně používaných objektivních ukazatelů tuhosti masa a její hodnoty často korelují s preferencemi konzumentů. Například studie Destefanis et al. (2008) prokázala statisticky významnou souvislost mezi hodnotami WBSF a senzorickým vnímáním křehkosti, přičemž vyšší naměřené hodnoty obvykle znamenaly nižší subjektivní hodnocení křehkosti masa. S těmito

poznatky korespondují i výsledky naší práce – vzorek A, který vykazoval po pěti měsících nejvyšší tvrdost (největší odpor vůči smykové síle), mohl v důsledku svého texturního profilu vykazovat nižší senzorické přijetí hodnotiteli.

6.2.6 Barevnost masa

Tabulka 8 popisuje změny v barvě sušených vzorků masa A, B a C na základě systému *CIE L*a*b**, kde parametr L^* reprezentuje světlost (0 = černá, 100 = bílá), a^* barevnou složku od zelené (–) po červenou (+) a b^* od modré (–) po žlutou (+). Parametry C^* (chroma) a h° (barevný úhel) jsou odvozeny z a^* a b^* a poskytují komplexnější charakteristiku barevného odstínu a sytosti. Parametr ΔE^* vyjadřuje celkovou barevnou odchylku vzorku od standardu (čerstvého masa), přičemž hodnoty ΔE^* nad 3 jsou obecně vnímány jako zřetelně odlišné okem (Zmeškal et al., 2002). Ve všech sušených vzorcích došlo ke snížení hodnoty L^* oproti čerstvému masu, což indikuje celkové ztmavnutí vzorků v důsledku dehydratace a možných chemických změn, jako je Maillardova reakce či oxidace pigmentů. Největší pokles L^* byl zaznamenán u vzorku B, který vykazuje nejtmaší odstín. Hodnoty a^* (červenost) se u sušených vzorků rovněž snížily, což značí ztrátu červeného odstínu charakteristického pro čerstvé maso. Tento jev může být způsoben degradací myoglobinu vlivem tepla, kyslíku či nízké aktivity vody během sušení. Výraznější pokles hodnoty a^* je patrný zejména u vzorku A, což může souviset s rozdíly v chemickém složení nebo oxidační stabilitě svalových vláken. Podle Falomir-Lockhart et al. (2015) může být barevná stabilita masa výrazně ovlivněna genetickými faktory, které řídí oxidační stabilitu svalových tkání a tím i náchylnost myoglobinu k oxidaci. Naopak hodnota b^* (žlutost) u všech sušených vzorků vzrostla, což může naznačovat přítomnost oxidačních produktů nebo tvorbu hnědožlutých pigmentů (např. melanoidinů), které jsou typické pro tepelně namáhané a sušené produkty. Parametr C^* (chroma, barevná sytost) se ve všech sušených vzorcích mírně snížil nebo zůstal podobný, což odráží pokles intenzity původní barvy masa. Barevný úhel h° (hue angle) se u všech vzorků zvýšil, což odpovídá posunu barvy směrem od červené k více žlutooranžovému spektru. Převažující barevný odstín h° je tedy u většiny vzorků v červeno-žluté (oranžové) oblasti mezi 20-45°. Vzorky A0, C1, B3 a B6 směřují ke žlutému odstínu ($h^\circ > 45^\circ$). Vzorek A2 má sytější červenou barvu ($h^\circ = 8,64^\circ$). Vzorek B1 má červenou barvu s lehkým nádechem do modra ($h^\circ = 360 - 5,28 = 354,72^\circ$), což lze vysvětlit difundovanou solí na povrchu masa či přítomností plísní. Vzorky z různých dob skladování mají porovnatelný *CIE L*a*b** profil; vzorky A2-C2 mají barevný odstín více do červena. Vzorky A2-C2 mají oproti ostatním skladovaným vzorkům také mírně vyšší sytost barvy (C^*), patrně díky kratší době

skladování. Celkově mají vzorky masa po skladování nízkou sytost barvy C^* (jsou matné) ve srovnání s čerstvými vzorky (A0-C0) (Zmeškal et al., 2002).

U měřených vzorků masa se hodnoty barevné difference (ΔE^*) pohybovaly v poměrně úzkém rozmezí $21,30 \pm 0,11$ až $28,00 \pm 0,04$. Hodnoty ΔE^* potvrzují výrazné rozdíly mezi sušeným a čerstvým masem, s největší barevnou změnou u vzorku A, což může odrážet největší celkovou míru fyzikálně-chemických změn proběhlých během sušení. Hodnoty světlosti a chromatických koordinát dobře korelují s vývojem chromatických parametrů $L^*a^*b^*$, jak je stanovili autoři Bagdatli a Kayaardi (2015) pro vzorky hovězích steaků v různých obalech po dobu 35 dnů. Zvláště se to týká poklesu hodnot a^* a během skladování vzorků, kdy vzorky získávaly matnější profil.

Tabulka 8 Parametry $CIE L^*a^*b^*$ a celkový barevný rozdíl ΔE^* vzorků masa (ve vztahu k čerstvému masu jako standardu).

Vzorek		L^*	a^*	b^*	C^*	h°	ΔE^*
		(-)	(-)	(-)	(-)	(°)	(-)
Čerstvé maso	A0	35,18 ± 1,06	22,34 ± 1,71	15,91 ± 3,23	27,43 ± 3,08	66,37 ± 1,90	-
	B0	30,59 ± 0,87	17,75 ± 0,77	17,70 ± 0,60	25,07 ± 0,97	37,02 ± 0,79	-
	C0	35,87 ± 1,03	18,78 ± 1,00	18,09 ± 0,72	26,08 ± 1,21	39,84 ± 1,36	-
Po 1 měsíci	A1	22,33 ± 0,19	1,79 ± 0,01	1,90 ± 0,08	2,610 ± 0,07	32,00 ± 2,92	28,00 ± 0,04
	B1	25,39 ± 0,06	0,85 ± 0,01	1,41 ± 0,14	1,640 ± 0,12	-5,28 ± 0,73	24,05 ± 0,09
	C1	23,06 ± 0,06	1,53 ± 0,03	1,33 ± 0,05	2,027 ± 0,01	48,41 ± 4,89	27,25 ± 0,02
Po 2 měsících	A2	23,78 ± 0,86	2,85 ± 0,81	4,05 ± 0,52	4,952 ± 0,91	8,64 ± 1,12	25,50 ± 0,60
	B2	24,39 ± 0,96	2,91 ± 0,60	3,44 ± 0,44	4,502 ± 0,71	23,58 ± 1,13	21,50 ± 1,04
	C2	23,49 ± 0,22	3,78 ± 0,24	4,21 ± 0,14	5,653 ± 0,25	28,17 ± 3,43	23,90 ± 0,33
Po 3 měsících	A3	22,50 ± 0,35	2,15 ± 0,05	1,96 ± 0,07	2,912 ± 0,09	44,52 ± 0,92	27,62 ± 0,09
	B3	23,60 ± 0,66	3,77 ± 0,44	3,27 ± 0,68	4,993 ± 0,63	48,51 ± 1,71	21,27 ± 0,82
	C3	22,46 ± 1,25	2,75 ± 0,22	2,80 ± 0,26	3,927 ± 0,32	35,24 ± 4,48	25,89 ± 0,56
Po 5 měsících	A5	23,28 ± 0,82	2,88 ± 0,74	2,91 ± 0,69	4,087 ± 1,01	35,95 ± 1,12	26,26 ± 1,26
	B5	23,31 ± 0,64	3,95 ± 0,44	3,20 ± 0,33	5,082 ± 0,48	54,33 ± 1,29	21,30 ± 0,11
	C5	23,67 ± 1,01	4,11 ± 0,20	3,88 ± 0,36	5,648 ± 0,38	41,39 ± 5,23	23,80 ± 0,80

Poznámka: Hodnoty jsou uvedeny jako aritmetický průměr ± směrodatná odchylka tří měření. Vzorky A0-C0 (čerstvé maso) byly použity jako standardy pro stanovení celkového barevného rozdílu (ΔE^*). Barevné parametry: L^* - světlost; a^* - chromatičnost na ose zelená(-)-červená(+); b^* - chromatičnost na ose modrá(-)-žlutá(+); C^* - sytost barvy (chromatičnost); h° - úhel odstínu (°). Označení vzorků: A – vysoký roštěnec; B – květová špička; C – velká plec.

6.2.7 Senzorická analýza sušeného masa

Výsledky pořadové zkoušky Friedmanovým testem

Tabulka 9 Výsledky pořadové zkoušky preferencí masa

Hodnotitelé	Označení vzorku		
	A	B	C
1	1	3	2
2	2	1	3
3	3	2	1
4	1	2	3
5	3	1	2
6	1	2	3
7	2	3	1
8	2	1	3
9	1	3	2
10	3	2	1
11	3	2	1
12	2	1	3
T_i	24	23	25
T_i^2	576	529	625
$\sum T_i^2$	1730		
FR	0,1667		

Tabelovaná hodnota pro $\alpha = 0.05$ je 6,17

Neplatí, že $FR > Q_{1-\alpha}(R, n)$ naopak jsme stanovili, že $FR < Q_{1-\alpha}(R, n)$

Pro účely aplikace Friedmanova testu byla získaná data uspořádána do tabulky, kde jednotlivé sloupce reprezentují hodnocené vzorky (R) a řádky odpovídají jednotlivým hodnotitelům (n).

Výsledek Friedmanova testu (hodnota testovaného kritéria FR) je nižší než kritická hodnota $Q_{1-\alpha}(R, n)$ (tabelovaná hodnota pro daný počet vzorků a hodnotitelů). Z toho vyplývá, že v rámci preferencí (pořadové zkoušky) nejsou mezi vzorky sušeného masa statisticky významné senzorické rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 5 \%$.

Přijímá se proto hypotéza H_0 , že nelze senzoricky rozeznat rozdíly ve vzorcích sušeného masa z hlediska preferencí hodnotitelů. Z tohoto důvodu se neaplikuje Nemenyiho metoda vícenásobného párového porovnání. Nejvíce preferován byl vzorek B a nejméně vzorek C, avšak rozdíly v preferencích byly statisticky nevýznamné ($p > 0.05$).

Při senzorickém hodnocení atributů, jako jsou barva, chuť a vůně, textura (žvýkatelnost) a tuhost, byly zjištěny následující výsledky: Vzorek C dosáhl nejvyšší intenzity barvy s

hodnotou 48, což poukazuje na jeho nejvýraznější barevný profil ze všech hodnocených vzorků. Tato vyšší senzorická preference může souviset s vyšší hodnotou chromatičnosti (C^*) zjištěnou pomocí barevné analýzy v systému $CIEL\ a^*b^*$, kde vzorek C vykázal sytější barvu ve srovnání se vzorkem A, jenž se jevil jako matnější a dosáhl nejnižší hodnoty C^* . Tento výsledek poukazuje na možnost korelace mezi výsledky instrumentální analýzy a senzorického hodnocení, a potvrzuje relevanci využití obou přístupů pro komplexní charakteristiku potravinářských výrobků.

V oblasti chuti a vůně rovněž vzorek C vykazoval nejvyšší hodnoty celkového hodnocení, nicméně rozdíly mezi jednotlivými vzorky nebyly statisticky významné ($p > 0,05$). V rámci hodnocení tuhosti byl nejlépe hodnocen vzorek C, který byl posuzovateli vnímán jako nejkompaktnější. Co se týče žvýkatelnosti, nejlépe hodnoceným byl vzorek A, který byl vnímán jako nejpružnější a nejvíce soudržný, což přispělo k jeho příznivému celkovému hodnocení. Přestože rozdíly mezi vzorky nebyly statisticky významné ($p > 0,05$), vnímaná žvýkatelnost vzorku A odpovídá výsledkům instrumentální analýzy tvrdosti pomocí Warner-Bratzlerovy stříhové zkoušky. Tento soulad naznačuje, že i při absenci statistické významnosti byli hodnotitelé schopni rozpoznat rozdíly ve struktuře, zejména vyšší míru žvýkatelnosti (tvrdosti) u vzorku A ve srovnání se vzorky B a C.

Výsledky senzorického hodnocení tedy korespondují s texturní analýzou, podle níž vykazoval nejvyšší hodnotu tvrdosti vzorek A. Naopak nižší hodnoty naměřené u vzorků B a C byly v souladu s jejich nižším senzorickým hodnocením, což indikuje shodu mezi subjektivním a objektivním posouzením těchto parametrů.

Výsledky hodnocení senzorických znaků Kruskal-Wallisovým testem

Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nelze odmítnout nulovou hypotézu (H_0), že průměrné pořadí testovaných skupin (tj. vzorků v intenzitní stupnici) je u barvy masa náhodné. Rozdíly v intenzitě barvy různých typů masa tedy nebyly prokázány ($p > 0,05$). Na stejné hladině významnosti nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v intenzitě chuti a vůně testovaných vzorků masa. Dále nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v senzoricky vnímané žvýkatelnosti (textury) vzorků masa ($p > 0,05$). Rozdíly v intenzitě tuhosti vzorků masa se ze statistického hlediska jeví též jako nevýznamné ($p > 0,05$).

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit vliv délky skladování na chemické, fyzikální a senzorické vlastnosti sušeného hovězího masa, se zaměřením na proces oxidace lipidů. Výsledky ukázaly, že skladování významně ovlivňuje kvalitu sušeného masa. Hodnocení aktivity vody potvrdilo stabilní hodnoty, které zabezpečovaly mikrobiologickou bezpečnost výrobku po celou dobu skladování. Přesto drobné rozdíly v hodnotách a_w naznačily, že i při jednotných podmínkách může přirozená variabilita suroviny ovlivnit výslednou stabilitu produktu. Oxidace lipidů, sledovaná pomocí metody DSC (T_{on}) probíhala typickým způsobem, kdy hodnoty oxidačních produktů postupně narůstaly, vrcholily kolem 2. – 3. měsíce skladování a poté byl zaznamenán statisticky nevýznamný pokles. Výsledky analýzy DSC dále poukázaly na odlišnou oxidační stabilitu jednotlivých vzorků masa. Nejvyšší teploty počátku oxidace (T_{on}) byly zaznamenány u vzorku velké plece napříč všemi měřenými obdobími, což naznačuje vyšší odolnost vůči oxidaci. Naopak vzorek vysokého roštěnce vykazoval nejnižší hodnoty (T_{on}), zejména po delším skladování, což může souviset s vyšším podílem nenasycených kyselin, jež oxidují snadněji. Výsledky TBARS analýzy také naznačují nárůst oxidačních produktů v mase až do doby tří měsíců skladování a po pěti měsících mírně klesly v důsledku dále probíhající degradace sekundárních oxidačních produktů a jejich interakcí s jinými složkami matrice (viz kapitola TBARS). Tento průběh odpovídá běžnému vývoji lipidové oxidace ve skladovaných masných produktech a souvisí s akumulací a následnou degradací sekundárních produktů oxidace. Nejvyšší oxidační stabilitu vykazoval vzorek velké plece, což může souviset s nižším obsahem tuku a vyšším podílem nasycených mastných kyselin. Výsledky naznačují, že složení tuku má významný vliv na průběh oxidace při dlouhodobém skladování. Texturní vlastnosti, analyzované pomocí Warner–Bratzlerova stříhového testu, ukázaly změny tvrdosti v průběhu skladování. Zatímco vzorek vysokého roštěnce vykazoval výrazný nárůst tvrdosti po pěti měsících, vzorky květové špičky a velké plece si zachovaly nižší tvrdost, což může ovlivnit spotřebitelskou přijatelnost. Hodnocení barevných parametrů ($L^*a^*b^*$) potvrdilo, že během skladování dochází k ztmavnutí masa, poklesu červenosti a zvýšení žlutosti, což je pravděpodobně důsledkem degradace myoglobinu, tvorby oxidačních pigmentů a probíhajících chemických reakcí v sušeném mase. Senzorické hodnocení ukázalo, že i přes chemické a texturní změny si sušené maso zachovalo dobrou celkovou přijatelnost. Nejlépe byly hodnoceny vzorky s vyšší barevnou stabilitou a příznivější texturou. Vzorek z velké plece vykazoval nejvyšší intenzitu barvy, což poukazuje na jeho

nejvýraznější barevný profil mezi všemi hodnocenými vzorky. Také v oblasti sensorickém hodnocení chuti a vůně rovněž dosáhl nejvyššího celkového hodnocení. Naopak z hlediska žvýkatelnosti byl nejlépe hodnoceným vzorek z vysokého roštěnce, který byl sensoricky vnímán jako nejpružnější a nejvíce soudržný, což pozitivně ovlivnilo celkové hodnocení. Tyto sensorické výsledky odpovídají instrumentálně naměřeným hodnotám texturní analýzy, kde právě vzorek vysokého roštěnce vykazoval nejvyšší hodnotu tvrdosti. Nižší sensorické hodnoty u vzorků květové špičky a velké plece z hlediska některých atributů pak odpovídá i jejich nižším hodnotám zjištěným při analytickém hodnocení.

Na základě získaných výsledků lze vyhodnotit vhodnost typů masa pro zvolený proces sušení. Dále je možné optimalizovat skladovací podmínky (teplota, vlhkost) za účelem minimalizace oxidace lipidů.

Směrem k budoucímu výzkumu by bylo vhodné zaměřit se na analýzu vlivu odlišných sušících metod (např. lyofilizace versus konvenční sušení) na oxidaci tuků a dále sledování oxidačních změn i v delším časovém horizontu než pět měsíců.

Výsledky této diplomové práce přispívají k hlubšímu porozumění oxidačních a texturních změn v sušeném hovězím mase během skladování a zároveň otevírají prostor pro další výzkum zaměřený na prodloužení trvanlivosti a zachování sensorické kvality masných produktů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABERLE, Elton D.; FORREST, John C. a GERRARD, David E., 2012. *Principles of Meat Science*. 5. th. Kendall Hunt Publishing Company. ISBN 9780757599958.

ÁLVAREZ, Sara; ÁLVAREZ, Carlos; M. HAMILL, Ruth; O'NEILL, Eileen a MULLEN, Anne Maria, 2023. Influence of meat sample geometry on dehydration dynamics during dry-aging of beef. *Meat science*. Roč. 202, č. Journal Article, s. 109216-109216. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109216>.

AMARAL, Ana Beatriz; SILVA, Marcondes Viana da a LANNES, Suzana Caetano da Silva, 2018. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review: mechanisms and protective factors – a review. *Ciência e tecnologia de alimentos*. Roč. 38, č. Journal Article, s. 1-15. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/fst.32518>.

AYKIN DINÇER, Elif, 2023. Dried Meat Products Obtained by Different Methods from Past to Present. *Food reviews international*. Roč. 39, č. Journal Article, s. 2457-2476. ISSN 8755-9129. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1956944>.

BAĞDATLI, Aytunga a KAYAARDI, Semra, 2015. Influence of storage period and packaging methods on quality attributes of fresh beef steaks. *CYTA: journal of food*. Roč. 13, č. Journal Article, s. 124-133. ISSN 1947-6337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.919029>.

CARR, M. A.; MILLER, M. F.; DANIEL, D. R.; YARBROUGH, C. E.; PETROSKY, J. D. et al., 1997. Evaluation of the physical, chemical and sensory properties of jerky processed from emu, beef, and turkey. *Journal of food quality*. Roč. 20, č. Journal Article, s. 419-425. ISSN 0146-9428. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1997.tb00484.x>.

ČEPIČKA, Jaroslav, 1995. *Obecná potravinářská technologie*. Praha: VŠCHT. ISBN 8070802391.

ČERNÝ, L., 2007. *Co a jak s masem*. Velké Bílovice: TeMi CZ. ISBN ISBN 978-80-903873-6-2.

DASHDORJ, Dashmaa; TRIPATHI, Vinay Kumar; CHO, Soohyun; KIM, Younghoon a HWANG, Inho, 2016. Dry aging of beef; Review. *Journal of animal science and technology*. Roč. 58, č. Journal Article, s. 20-20. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0101-9>.

DESTEFANIS, G.; BRUGIAPAGLIA, A.; BARGE, M.T. a DAL MOLIN, E., 2008. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force. Online. *Meat Science*. Roč. 3, č. 78, s. 153-156. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.031>. [cit. 2025-04-23].

DOMÍNGUEZ, R.; PATEIRO, M.; GAGAOUA, M.; BARBA, F.J.; ZHANG, W. et al., 2019. A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. Online. *Antioxidants*. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/antiox8100429>. [cit. 2025-03-21].

Doumas BT. The evolution of clinical chemistry as reflected in textbooks published in the United States. *Clin Chem*. 1998 Nov;44(11):2231-3. PMID: 9799745.

DUAN, Q.; TAIT, R. G.; SCHNEIDER, M. J.; BEITZ, D. C.; WHEELER, T. L. et al., 2015. Sire breed effect on beef longissimus mineral concentrations and their relationships with carcass and palatability traits. *Meat science*. Roč. 106, č. Journal Article, s. 25-30. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.03.020>.

DUŠÁTKO, J., 1997. Kouří se nám z udírny: uzení, grilování, rožnění. In: *Sešity domácího hospodaření*. Praha: Práce. ISBN 80-208-0409-9.

FALOMIR-LOCKHART, A.H.; ROGBERG-MUÑOZ, A.; PAPALEO-MAZZUCCO, J.; GOSZCZYNSKI, D.E.; LIRÓN, J.P. et al., 2015. Study of the influence of genes related to muscle oxidative processes on beef color. Online. *Meat Science*. Č. 108, s. 17-20. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.05>. [cit. 2025-04-27].

FAUSTMAN, Cameron; SUN, Qun; MANCINI, Richard a SUMAN, Surendranath P., 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control: Mechanistic bases and control. *Meat science*. Roč. 86, č. Journal Article, s. 86-94. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.025>.

FERNANDEZ, J.; PEREZ-ALVAREZ, J. A. a FERNANDEZ-LOPEZ, J. A., 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food chemistry*. Roč. 59, č. Journal Article, s. 345-353. ISSN 0308-8146. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00114-8).

FIDEL, Toldrá, 2017. The Storage and Preservation of Meat: I - Thermal Technologies: I - Thermal Technologies. In: *Lawrie's Meat Science*. United Kingdom: Elsevier, s. 1-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00007-8>.

GENG, Lianxin; LIU, Kunlun a ZHANG, Huiyan, 2023. Lipid oxidation in foods and its implications on proteins. *Frontiers in nutrition (Lausanne)*. Roč. 10, č. Journal Article, s. 1192199-1192199. ISSN 2296-861X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1192199>.

HRABĚ, Jan; UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ a FAKULTA, Technologická, 2011. *Základy zbožížnalství potravin*. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 9788074541186.

HRABĚ, Jan; BUŇKA, František; HOZA, Ignác a BŘEZINA, Pavel, 2007. *Technologie výroby potravin živočišného původu pro kombinované studium*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7318-521-3.

HUI, Y. H., 2012. *Handbook of meat and meat processing*. Online. 2. Boca Raton. ISBN 978-1-4398-3683-5.

INGR, Ivo; UNIVERZITA, Mendelova a FAKULTA, Agronomická, 2011. *Produkce a zpracování masa*. 2. V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 9788073755102.

INGR, Ivo; MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA a FAKULTA, Agronomická, 2003. *Produkce a zpracování masa*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 8071577197.

ISLAM, Mahbuba; KACZMAREK, Anna a TOMASZEWSKA-GRAS, Jolanta, 2023. Differential scanning calorimetry as a tool to assess the oxidation state of cold-pressed oils during shelf-life. *Journal of food measurement & characterization*. Roč. 17, č. Journal Article, s. 6639-6651. ISSN 2193-4126. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02152-8>.

JUNEJA, Vijay K.; DWIVEDI, Hari P. a SOFOS, John N., 2018. *Microbial Control and Food Preservation: Theory and Practice: Theory and Practice*. 1;1st 2017. New York, NY: Springer Nature. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7556-3>.

JŮZL, Miroslav a ŠÁRKA NEDOMOVÁ, Šárka, 2015. *JAKOST ŽIVOČIŠNÝCH PRODUKTŮ*. Brno. ISBN 978-80-7509-205-2.

KAMAL-ELDIN, A. a POKORNY, J.(Eds.), 2005. *Analysis of lipid oxidation*. Uppsala, Sweden: Swedish Institute of Agricultural Sciences. ISBN 1-893997-86-3.

KAMILOĞLU, Aybike; ELBIR, Tuğba; DÖLEK, Muzaffer a EŞREFOĞLU, Emine Sedanur, 2023. Comparative evaluation of different drying techniques for beef meat. Online. *Journal of food process engineering*. Roč. 46, č. Journal, Electronic, s. n/a-n/a. ISSN 0145-8876. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14441>. [cit. 2025-05-04].

KEBEDE, E. (Technion-Israel Institute of Technology.); MANNHEIM, C. H. a MILTZ, J., 1998. The TBA method as an index of oxidation of thermally preserved turkey meat in plastic trays and cans. *Journal of food processing and preservation*. Roč. 22, č. Journal Article, s. 139-153. ISSN 0145-8892. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1998.tb00810.x>.

KIM, Yuan H. Brad; KEMP, Robert a SAMUELSSON, Linda M., 2016. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat science*. Roč. 111, č. Journal Article, s. 168-176. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.09.008>.

KOOHMARAIE, M. a GEESINK, G. H., 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat science*. Roč. 74, č. Journal Article, s. 34-43. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.025>.

Kruskal Wallis test calculator followed by post-hoc Dunn's test, 2017. Online. Dostupné z: <https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>. [cit. 2025-04-13].

KŘÍŽ, Oldřich; BUŇKA, František; HRABĚ, Jan; UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ a FAKULTA, Technologická, 2007. *Senzorická analýza potravin II*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati. ISBN 9788073184940.

LAGUERRE, M.; LECOMTE, J. a VILLENEUVE, P., 2007. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges:

Existing methods, new trends and challenges. *Progress in lipid research*. Roč. 46, č. Journal Article, s. 244-282. ISSN 0163-7827. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002>.

LAWRIE, Ralston Andrew a LEDWARD, David, 2006. *Lawrie's meat science*. 7. th. ISBN 9781615831128.

LEYGONIE, Coleen; BRITZ, Trevor J. a HOFFMAN, Louwrens C., 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat science*. Roč. 91, č. Journal Article, s. 93-98. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>.

LITWINIENKO, Grzegorz, 2005. *Analysis of Lipid Oxidation*. Online. New York: AOCS Publishing. ISBN 1-893997-86-3. [cit. 2025-05-04].

MEDIANI, Ahmed; HAMEZAH, Hamizah Shahirah; JAM, Faidruz Azura; MAHADI, Nursyah Fitri; CHAN, Sharon Xi Ying et al., 2022. A comprehensive review of drying meat products and the associated effects and changes. *Frontiers in nutrition (Lausanne)*. Roč. 9, č. Journal Article, s. 1057366-1057366. ISSN 2296-861X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1057366>.

Meeker, Edward & Wagner, E.. (2002). Titration of Ammonia in Presence of Boric Acid. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*. 5. 10.1021/ac50086a012.

MISHRA, B. P.; MISHRA, J.; PATI, P. K. a RATH, P. K., 2017. Dehydrated Meat Products: A Review. *International Journal of Livestock Research*. Č. 7. ISSN : 2277-1964.

MIHOCIU, Tamara; NEGOITA, Mioara a CULET, Alina, 2018. Crude Fat Analysis from Some Meat Products by Differential Scanning Calorimetry. Online. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*. Roč. 2., č. 4. ISSN 2602-4772. Dostupné z: <https://doi.org/DOI: 10.29329/ijiaar.2018.174.1>. [cit. 2025-04-22].

MIN, B. a AHN, D. U., 2005. Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products -A Review. Online. *Food Sci. Biotechnol.* Roč. 1, č. 14, s. 152-163. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228577245_Mechanism_of_lipid_peroxidation_in_meat_and_meat_products_-A_review. [cit. 2025-04-28].

MZe 2, 2022: Aktivita vody. In: bezpečnost potravin [online]. Ministerstvo zemědělství [cit. 2025-01-30]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76457.aspx>

Nollet, L., J. van der Klis, Lensing, M., Spring, P., (2007). The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *J. Appl. Poult. Res*, 16 (2007), pp. 592-597

ODSTRČIL, Jaroslav a ODSTRČILOVÁ, Milada, 2006. *Chemie potravin*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů. ISBN 8070134356.

PAPASTERGIADIS, Antonios; MUBIRU, Edward; VAN LANGENHOVE, Herman a DE MEULENAER, Bruno, 2012. Malondialdehyde Measurement in Oxidized Foods: Evaluation of the Spectrophotometric Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) Test in Various Foods: Evaluation of the Spectrophotometric Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) Test in Various Foods. *Journal of agricultural and food chemistry*. Roč. 60, č. Journal Article, s. 9589-9594. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf302451c>.

Peroxidace lipidů, 2006. Online. <https://biology.estranky.cz/>. Dostupné z: <https://biology.estranky.cz/clanky/biochemie/peroxidace-lipidu.html>. [cit. 2025-03-23].

PERRY, Neil, 2012. Dry aging beef. *International journal of gastronomy and food science*. Roč. 1, č. Journal Article, s. 78-80. ISSN 1878-450X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2011.11.005>.

PERSSON, PH.D., Jan-Åke; WENNERHOLM, Mårten a O'HALLORAN, Stephen, 2008. *Handbook for Kjeldahl digestion: a recent review of the classical method with improvements developed by Tecator*. Fourth Edition. CA Andersson, Malmoe, Sweden. ISBN 91-630-3471-9.

PETER, Zeuthen a LEIF, Bøgh-Sørensen, 2003. Monitoring the Effectiveness of Food Preservation. In: *Food Preservation Techniques*. United Kingdom: Woodhead Publishing, s. 103-103. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-530-9.50028-0>.

PH Bezpečnost potravin. Online. Praha: Informační centrum bezpečnosti potravin, Ministerstvo zemědělství. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/ph/>. [cit. 2025-03-09].

PIGNITTER, Marc a SOMOZA, Veronika, 2012. Critical Evaluation of Methods for the Measurement of Oxidative Rancidity in Vegetable Oils. *Yàowu shìpín fēnxi*. Roč. 20, č. Journal Article, s. 772-777+981. ISSN 1021-9498. Dostupné z: <https://doi.org/10.6227/jfda.2012200405>.

PIPEK, P. a JIROTKOVÁ, D., 2001. *Hodnocení jakosti, zpracování a zbožiznalství živočišných produktů III*. 2. České Budějovice: Jihočeská Univerzita. ISBN 80-7040-490-6.

PIPEK, Petr, 1991. *Technologie masa I*. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 8070801069.

POKORNÝ, Jan; VALENTOVÁ, Helena a PANOVSÁ, Zdeňka, 1998. *Sensorická analýza potravin*. Praha: VŠCHT. ISBN 80-7080-329-0.

PŮHONÝ K., 1987: Konzervace a ukládání potravin v domácnosti. 5. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 319 s.

RAHMAN, M. H.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, S. M. E.; AMIN, M. R. a OH, Deog-Hwan, 2015. Evaluation of Physicochemical Deterioration and Lipid Oxidation of Beef Muscle Affected by Freeze-thaw Cycles. *Korean journal for food science of animal resources*. Roč. 35, č. Journal Article, s. 772-782. ISSN 1225-8563. Dostupné z: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.6.772>.

SALÁKOVÁ, Alena a BOŘILOVÁ, Gabriela, 2014. *Technologie a hygiena potravin živočišného původu: návody na cvičení*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno. ISBN 978-80-7305-730-5.

SALDAÑA, M.D.A. a MARTÍNEZ-MONTEAGUDO, S.I., 2013. *Oxidative Stability of Fats and Oils Measured by Differential Scanning Calorimetry for Food and Industrial Applications*. Online. ISBN 9535109472. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.5772/54486>. [cit. 2025-05-04].

SARKER, M. Shohag, 2015. *STUDY ON DRY MEAT PROCESSING AND PRESERVATION IN FOOD INDUSTRIES*. Online. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/study-dry-meat-processing-preservation-food-m-shohag-sarker/>. [cit. 2025-05-04].

SAVELL, Jeff W., 2008. Dry-Aging of Beef. Online. Dostupné z: <https://www.beefresearch.org/>. [cit. 2025-03-21].

SIMEONOVÁ, Jana; GAJDŮŠEK, Stanislav; INGR, Ivo; MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA a FAKULTA, Agronomická, 2003. *Zpracování a zbožížnatství živočišných produktů*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 8071577081.

SLOBODIAN, Petr, 2014. *Termická analýza materiálů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 9788074544033.

Stančík, J. (2007). Studium procesu degradace inkoustového tisku na tenké vrstvě

STEINHAUSER A KOL., Ladislav, 2000. *Produkce masa*. Tišnov: Last. ISBN 80-900260-7-9.

STRAKA, Ivan a MALOTA, Ladislav, 2006. *Chemické vyšetření masa*. Tábor: OSSIS. ISBN 8086659097.

STRAKA, Ivan a MALOTA, Ladislav, 2006. *Chemické vyšetření masa: (klasické laboratorní metody)*. Tábor: OSSIS. ISBN 80-86659-09-7.

Taub, I. Singh, A., (1998): Food storage stability. Boca Raton, FL: CRC Press, 539 s. ISBN 084932646x.

THURGOOD, Jennifer; WARD, Robert a MARTINI, Silvana, 2007. Oxidation kinetics of soybean oil/anhydrous milk fat blends: A differential scanning calorimetry study. Online. *Food Research International*. Roč. 8, č. 40, s. 1030-1037. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.05.004>. [cit. 2025-04-22].

TENGKU-ROZAINA, Tengku Mohamad a BIRCH, Edward John, 2019. Thermal Analysis for Lipid Decomposition by DSC and TGA. In: *Encyclopedia of Food Chemistry*. Elsevier, s. 345-352. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21674-0>.

TEUBNER, Christian, 2010. *Bible šéfkuchaře Maso a zvěřina*. Praha: Svojtka & Co. ISBN 978-80-256-0420-5.

TURAN T. T., 2016: Udíme, nasolujeme, sušíme: Průvodce proslulými delikatesami z masa a ryb. Bratislava: Slovart, 224 s. ISBN 978-80-7529-191-2

ULKOWSKI, Marcin; MUSIALIK, Malgorzata a LITWINIENKO, Grzegorz, 2005. Use of Differential Scanning Calorimetry To Study Lipid Oxidation. 1. Oxidative Stability of Lecithin and Linolenic Acid. *Journal of agricultural and food chemistry*. Roč. 53, č. Journal Article, s. 9073-9077. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf051289c>.

VELÍŠEK, Jan a HAJŠLOVÁ, Jana, 2009. *Chemie potravin*. Tábor: OSSIS. ISBN 9788086659176.

VELÍŠEK, Jan, 2002. *Chemie potravin*. Vyd. 2., upr. Tábor: OSSIS. ISBN 80-86659-01-1.

Wirkowska M, Górská A, Bryś J, Ostrowska-Ligęza E, Koczoń P. Oxidative stability and triacylglycerols structure of lipid fraction from cookies for infants. *Int J Food Sci Nutr*. 2012 May;63(3):296-302. doi: 10.3109/09637486.2011.627838.

YANG, Han-Sul; HWANG, Young-Hwa; JOO, Seon-Tea a PARK, Gu-Boo, 2009. The physicochemical and microbiological characteristics of pork jerky in comparison to beef jerky. *Meat science*. Roč. 82, č. Journal Article, s. 289-294. ISSN 0309-1740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.029>.

YANISHLIEVA, Nedyalka; GORDON, Michael H. a POKORNÝ, Jan, 2001. *Antioxidants in food*. Boca Raton, Fla: CRC Press. ISBN 1591243319.

ZHOU, G.H.; XU, X.L. a LIU, Y., 2010. Preservation technologies for fresh meat – A review. Online. *Meat Science*. Č. 86, s. 119-128. [cit. 2025-04-09].

ZMEŠKAL, Oldřich; ČEPPAN, Michal a DZIK, Petr, 2002. Barevné prostory a správa barev. Online. S. 1-14. Dostupné z: http://imagesci.fch.vut.cz/download/stud06_rozn02.pdf. [cit. 2025-04-09].

ZRCKOVÁ, Božena, 2006. *Jatečné maso*. Online. Praha: Integrovaná střední škola Slaný. [cit. 2025-02-01].

ZUO, Wenlu; HU, Xuechao; YANG, Yaqiong; JIANG, Ling; REN, Lujing et al., 2017. Development of an Improved Method to Determine Saturated Aliphatic Aldehydes in Docosahexaenoic Acid-Rich Oil: A Supplement to p-Anisidine Value: A Supplement to p-Anisidine Value. *European journal of lipid science and technology*. Roč. 119, č. Journal Article, s. n/a-n/a. ISSN 1438-7697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700243>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Znázornění křivky DSC (Slobodian et al., 2014)	32
Obrázek 2 DSC termogram ne-isotermní oxidace lipidů (Saldaña and S.I. Martínez-Monteagudo, 2013).	33
Obrázek 3 Jednotlivé porce steaků (zdroj: vlastní)	36
Obrázek 4 Steak (zdroj: vlastní)	37
Obrázek 5 Vzorky ve zrací komoře (zdroj: vlastní)	37
Obrázek 6 Sušené vzorky (zdroj: vlastní)	38
Obrázek 7 Analyzátor textury TA.XT plus (zdroj: vlastní)	44
Obrázek 8 Vyznačení parametrů T_s a T_{on} ne-izotermní oxidace tuků na DSC termogramu pro vzorek A1 10 °C/min (zdroj: vlastní)	46
Obrázek 9 Hliníková pánvička s extrahovaným tukem (zdroj: vlastní)	47
Obrázek 10 Senzorická analýza (zdroj: vlastní)	49
Obrázek 11 Závislost rychlostní konstanty na teplotě v čase skladování, pro různé vzorky.	64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Složení vzorků čerstvého hovězího masa (A0, B0, C0) a jejich pH.....	51
Tabulka 2 Hmotnost a rozměry vzorků masa (délka × výška × tloušťka) před sušením a po 20 dnech sušení, vypočítané hodnoty $Deff$	53
Tabulka 3 Aktivita vody (a_w) sušených vzorků masa (A1, B1, C1) po 1 měsíci v komoře pro zrání.	54
Tabulka 4 Obsah malondialdehydu stanovený metodou TBARs ve vzorcích čerstvého a sušeného masa po 1 až 5 měsících skladování	56
Tabulka 5 Teploty počátku oxidace (T_{on}) při různých rychlostech ohřevu (β) tuku extrahovaného ze sušených vzorků masa.	57
Tabulka 6 Parametry oxidace lipidů pro extrahovaný tuk ze sušených vzorků masa po 1 měsíci skladování.....	60
Tabulka 7 Hodnoty tvrdosti vzorků sušeného masa analyzované Warner-Bratzlerovou zkouškou smykové síly.....	65
Tabulka 8 Parametry CIE $L^*a^*b^*$ a celkový barevný rozdíl ΔE^* vzorků masa (ve vztahu k čerstvému masu jako standardu).....	69
Tabulka 9 Výsledky pořadové zkoušky preferencí masa	70

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_w	Aktivita vody
BHT	Butylhydroxytoluen
D_{eff}	Difúzní koeficient
DSC	Diferenciační skenovací kalorimetrie
MDA	Malondialdehyd
TBARS	Thiobarbiturové číslo
TMP	1,1,3,3-tetramethoxypropan
T_{on}	Teplota počátku oxidace
WBSF	Warner-Bratzlerova smyková síla