

Posouzení vlastností ořechů a z nich extrahovaných olejů

Bc. Karolína Jelínková

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Karolína Jelínková
Osobní číslo:	T23258
Studijní program:	N0711A130011 Biomateriály a kosmetika
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Posouzení vlastností ořechů a z nich extrahovaných olejů

Zásady pro vypracování

Student v teoretické části rozpracuje okruhy týkající se rostlin plodící skořápkové plody – ořechy. Stěžejní částí bude kapitola o olejích, které lze z ořechů získat extrakcí, lisováním a podobně. Podrobněji prostuduje chemické složení, oxidační stabilitu a v neposlední řadě jejich využití v kosmetice a potravinářství. V praktické části se ze zakoupených ořechů izolují obsažené oleje, které se následně charakterizují dostupnými analytickými metodami. Předně půjde o porovnání množství získaného oleje zvolenými izolačními technikami, stanovení obsahu mastných kyselin, jodového čísla a čísla peroxidového. Navíc součástí práce budou i experimenty urychleného oxidačního stárnutí. Získané data student porovná s literárními zdroji a vyvodí z nich závěry.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] GUNSTONE, F. D. Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses. **2011**. ISBN 978-1-4443-3268-1.
- [2] FIRESTONE, D. Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats, and Waxes, Third Edition. **2013**, ISBN 978-0-9830791-9-4.
- [3] FERNANDES, G. D. a kol. Chemical Characterization of Major and Minor Compounds of Nut Oils: Almond, Hazelnut, and Pecan Nut. *Journal of Chemistry*. **2017**, 1–11. DOI: 10.1155/2017/2609549.
- [4] MIRALIKBARI, H. a SHAHIDI, F. Oxidative Stability of Tree Nut Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2008**, 56, 12, 4751–4759. DOI:10.1021/jf8000982.
- [5] OUZIR, M. a kol. Almond oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction methods, preservation conditions, potential health benefits, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. **2021**, 20, 4, 3344–3387. DOI:10.1111/1541-4337.12752.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ondřej Rudolf, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání diplomové práce: **10. února 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Lucie Urbánková, Ph.D.
ředitel ústavu

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 rostlinami plodícími skořápkové plody – ořechy. V teoretické části popisují chemické složení, oxidační stabilitu, využití olejů v kosmetice a potravinářství a možnosti získávání olejů včetně lisování a extrakce u vybraných druhů ořechů.

Praktická část je zaměřena na izolační techniky, pomocí nichž se z ořechů získává olej a následně porovnává množství získaného oleje mezi sebou. Pomocí přístroje Professional Rancimat 892, který funguje na principu zrychlených podmínek oxidace, zjišťuji oxidační stabilitu u vybraných druhů ořechů. Dále se v praktické části zabývám stanovením obsahu mastných kyselin pomocí plynové chromatografie, jodového a peroxidového čísla.

Klíčová slova: Skořápkové plody, oleje, lisování oleje, extrakce oleje, Rancimat, oxidační stabilita, mastné kyseliny, plynová chromatografie, jodové číslo, peroxidové číslo.

ABSTRACT

This thesis deals with plants producing nuts. In the theoretical part I describe the chemical composition, oxidative stability, use of oils in cosmetics and food industry and possibilities of oil extraction including pressing and extraction for selected nut species.

The practical part focuses on the isolation techniques used to extract oil from raw nuts and then compares the amount of oil obtained with each other. Using the Professional Rancimat 892, which operates on the principle of accelerated oxidation conditions, I determine the oxidation stability of selected nut species. In the practical part, we also see the determination of fatty acid content by gas chromatography, iodine and peroxide value.

Keywords: Nuts, oils, oil pressing, oil extraction, Rancimat, oxidative stability, fatty acids, gas chromatography, iodine number, peroxide number.

Tímto bych chtěla poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce Ing. Ondřeji Rudolfovi Ph.D. za cenné rady, trpělivost a pomoc při psaní teoretické části a měření části praktické. Velké díky patří také laborantkám, a to především laborantce Markétě Kudláčkové za její velkou ochotu a pomoc v laboratořích. Dále bych chtěla poděkovat všem pedagogům, kteří mě provedli studiem na FT UTB během celého magisterského studia. Díky patří také mé rodině, která mě ve studiu podporovala a měla se mnou vždy trpělivost.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST 12	
1 OŘECHY	13
2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ.....	14
3 DRUHY OŘECHŮ	15
3.1 MANDLE.....	15
3.2 PARA OŘECHY	18
3.3 PEKANOVÉ OŘECHY.....	18
3.4 MAKADAMOVÉ OŘECHY	19
4 OLEJE ZÍSKÁVANÉ Z OŘECHŮ	21
4.1 MANDLOVÝ OLEJ	21
5 ZPŮSOBY ZÍSKÁVÁNÍ OLEJŮ Z OŘECHŮ	23
5.1 EXTRAKCE OLEJE	23
5.2 LISOVÁNÍ	24
5.3 DALŠÍ MOŽNOSTI ZÍSKÁVÁNÍ MANDLOVÉHO OLEJE	24
6 OXIDAČNÍ STABILITA.....	26
6.1 MĚŘENÍ OXIDAČNÍ STABILITY	26
6.2 OXIDAČNÍ STABILITA MANDLOVÉHO OLEJE	27
6.3 SROVNÁNÍ OXIDAČNÍ STABILITY JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ OŘECHŮ	27
6.4 OXIDAČNÍ PRODUKTY	28
7 PEROXIDOVÉ A JODOVÉ ČÍSLO	29
8 VYUŽITÍ OŘECHŮ A JEJICH OLEJŮ V KOSMETICE A POTRAVINÁŘSTVÍ.....	30
II PRAKTICKÁ ČÁST 31	
9 EXTRAKCE	32
9.1 VYHODNOCENÍ.....	34

10	SOXHLETOVA EXTRAKCE	36
10.1	VYHODNOCENÍ	38
11	ESTERIFIKACE	40
11.1	VYHODNOCENÍ	41
12	PLYNOVÁ CHROMATOGRRAFIE	42
12.1	PLYNOVÁ CHROMTOGRRAFIE POMOCÍ PŘÍSTROJE SHIMADZU GC-14A	43
12.2	PLYNOVÁ CHROMATOGRRAFIE POMOCÍ SHIMADZU GC-2010 PRO	48
12.3	VYHODNOCENÍ	54
13	JODOVÉ ČÍSLO	58
13.1	VYHODNOCENÍ	60
14	PEROXIDOVÉ ČÍSLO	62
14.1	VYHODNOCENÍ	64
15	OXIDAČNÍ STABILITA	66
15.1	VYHODNOCENÍ	71
	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM TABULEK	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	85

ÚVOD

Ořechy, rostliny plodící skořápkové plody, tvoří poměrně obsáhlou skupinu, která nachází využití jak v kosmetickém, tak potravinářském průmyslu. V kosmetice se často setkáváme s ořechovými oleji, které mohou být získávány různými způsoby. V praxi se nejčastěji setkáváme s lisováním nebo extrakcí. V praktické části diplomové práce se budu zaměřovat na získání oleje pomocí extrakce rozpouštědly s použitím klasické extrakce pomocí míchadla a Soxhletovy extrakce.

U ořechů a olejů z nich extrahovaných je podstatné znát oxidační stabilitu, která hodnotí jejich odolnost proti nežádoucím chemickým změnám, ke kterým dochází při dlouhodobém skladování a při vystavení zvýšeným teplotám. Oxidační stabilita souvisí se samotným chemickým složením daného ořechu či oleje, proto se v diplomové práci zaměřím i obecně na složení vybraných druhů ořechů, se kterými se následně setkáme v praktické části.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OŘECHY

Ořechy můžeme charakterizovat jako plody složené ze dvou částí: nejedlé tvrdé skořápky a jedlého semene. Jsou známé jako bohatý zdroj potravy, co se živin i energie týče. Obecně jsou považovány jako dobrý zdroj tuku, vlákniny a bílkovin. Konzumace ořechů může snížit riziko některých onemocnění, jako jsou kardiovaskulární onemocnění a rakovina. Mají nízký glykemický index, který je dán vysokým obsahem nenasycených tuků a bílkovin a relativně nízkým obsahem sacharidů. [1]

2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ

Několik odrůd stromových ořechů slouží jako cenné olejniny, a to především díky jejich vysokému obsahu oleje, jedinečné chuti a zdravému složení lipidů. Oleje ze stromových ořechů jsou primárně složeny z triacylglycerolů, dále obsahují diacylglyceroly, monoacylglyceroly, volné mastné kyseliny a další minoritní složky, včetně přírodních antioxidantů a vitamínů rozpustných v tucích. [2]

Složení ořechových olejů se liší v závislosti na druhu, proto se v následující části zaměřím na 4 odlišné druhy ořechů a jejich složení. V praktické části diplomové práce jsem pracovala s mandlemi, para ořechy, pekanovými a makadamovými ořechy, z toho důvodu se i v teoretické části zaměřím především na chemické složení těchto ořechů.

3 DRUHY OŘECHŮ

V následující části diplomové práce se zaměřím na představení ořechů, se kterými jsem pracovala v praktické části. Jedná se o mandlové, makadamové, pekanové a para ořechy.

Kromě zmíněných druhů se dále mezi ořechy řadí kešu, pistáciové, vlašské, piniové ořechy nebo kokos.

3.1 Mandle

Hlavní parametry, které definují fyzikálně-chemickou kvalitu oleje jsou volná kyselost a peroxidové číslo. Pokud obě hodnoty dosahují nižších čísel, pak mluvíme o dobré kvalitě mandlových olejů. Volná kyselost se vyjadřuje pomocí kyseliny olejové a určuje množství volných mastných kyselin v oleji. Nižší hodnoty značí dobrou kvalitu a nízký obsah či nepřítomnost kyselin v oleji. [3]

Mnohé studie potvrzují, že oleje, které nabývají vyšších hodnot volné kyselosti představují potencionální problémy týkající se výskytu sekundárních oxidačních produktů, jako jsou ketony, aldehydy, krátké uhlovodíkové řetězce a alkoholy. [4]

Chemické složení

Hlavní výživové složky mandlí jsou lipidy, mastné kyseliny s délkou řetězce od C14 do C20, které zahrnují SFA, MUFA, PUFA a sloučeniny rozpustné v oleji, jako např. fytosteroly a tokoferoly. [5] V mandlových jádrech se tyto lipidy sdružují do olejových tělísek, která jsou ohraničená monovrstvou fosfolipidů, ve které jsou zabudovány oleosiny či integrální proteiny. [6] Genotyp mandlí a podmínky prostředí (lokalita, teplota v průběhu vegetačního období, doba sklizně) ovlivňují složení oleje co se obsahu mastných kyselin, triacylglycerolů, tokoferolů a sterolů týče. [7]

Následně uvádím 3 tabulky, kde jsou pro přehled uvedeny rozdíly mezi 4 odrůdami v zastoupení mastných kyselin, triacylglycerolů, fenolu a tokoferolu. Tím bych chtěla poukázat na to, že i v rámci jednoho druhu ořechu, v tomto případě mandlí, mohou být významné rozdíly ve složení mezi jednotlivými odrůdami.

Tabulka 1: Rozdíly ve složení mastných kyselin u čtyř odrůd mandlového oleje [8]

Název odrůdy a zastoupení **MK [%]				
Mastná kyselina	<i>Marcona</i>	<i>Fournat</i>	<i>Ferragnes</i>	<i>Ferraduel</i>
C16:0	7,22	8,60	7,32	7,71
C16:1	0,71	0,56	0,67	0,74
C17:0	0,06	0,07	0,06	0,06
C17:1	0,09	0,07	0,09	0,09
C18:0	2,85	3,57	2,96	2,45
C18:1	64,03	56,64	62,68	62,69
C18:2	24,57	29,80	25,62	26,10
*SFA	10,13	12,24	10,35	10,23
*MUFA	64,85	57,28	63,44	63,53
*PUFA	24,57	29,80	25,62	26,10
*UFA	89,42	87,08	89,07	89,63

*SFA: nasycené MK; MUFA: mononenasycené MK; PUFA: polynenasycené MK;
UFA: nenasycené MK ** MK = mastné kyseliny

Uvedená tabulka uvádí meziodrůdové rozdíly v zastoupení mastných kyselin. Můžeme si všimnout, že největší zastoupení nenasycených mastných kyselin bylo naměřeno u odrůdy Ferraduel.

Tabulka 2: Rozdíly v zastoupení triacylglycerolů u čtyř odrůd mandlového oleje [9]

Název odrůdy a zastoupení triacylglycerolů [%]				
Triacylglyceroly	<i>Marcona</i>	<i>Fournat</i>	<i>Ferragnes</i>	<i>Ferraduel</i>
LLL	3,24	5,18	3,06	3,65
LLO	16,19	18,43	14,08	15,9
LPL	2,78	3,86	0,75	2,71
OOL	27,25	24,72	24,66	25,79
LLS+POL	9,27	12,32	10,21	9,63
PPL	0,34	0,42	0,30	0,33
OOO	28,72	21,49	28,12	30,00
POO	9,02	9,38	11,19	9,01
SLO	0,05	0,96	0,81	0,12
POP	0,92	0,79	0,69	0,80
SOO	2,10	2,25	3,76	1,99

*O: olejová; L: linoleová; P: palmitová; S: stearová

Tabulka 3: Rozdíly v zastoupení fenolu a tokoferolu u čtyř odrůd mandlového oleje [10]

Název odrůdy a zastoupení fenolu a tokoferolu [mg/kg]				
	<i>Marcona</i>	<i>Fournat</i>	<i>Ferragnes</i>	<i>Ferraduel</i>
Celkové množství fenolu	141,66	85,33	116,91	133,64
α -tokoferol	456,64	473,55	401,23	448,83
β -tokoferol	1,67	3,43	2,43	2,11
γ -tokoferol	2,29	14,77	5,32	6,26
Celkové množství tokoferolu	460,61	491,77	408,99	457,21

Fenolové sloučeniny

Jádra mandlí jsou bohatá na fenolové sloučeniny, přičemž hodnota fenolu se většinou pohybuje v rozmezí 237-12541,2 mg GAE/kg. [11] Fenolové sloučeniny jsou považovány za přírodní sekundární metabolity. Mají mnoho biologických účinků, z nichž nejvýznamnější je příznivý vliv na lidské zdraví. [12] Množství obsaženého fenolu závisí na mnoha faktorech, a to zejména na odrůdě, zemědělských postupech při pěstování a na metodě extrakce oleje. [11]

Tokoferol

Kromě fenolových sloučenin se v mandlích hojně vyskytuje tokoferol. Setkáváme se zde s hlavními čtyřmi tokoferoly: α -, β -, γ - a δ -tokoferoly, které se mezi sebou liší polohou a počtem methylových skupin. [13] Tyto sloučeniny přispívají k antioxidačním vlastnostem olejů, hrají důležitou roli v biologických systémech a mají příznivý vliv na lidské zdraví (imunologické funkce, protizánětlivé procesy, agregace krevních destiček, buněčná signalizace, kontrola genové exprese a další). [14]

Mastné kyseliny

Mandlový olej má vysoký podíl nenasycených mastných kyselin (MUFA a PUFA). [15] Ve většině mandlí se setkáme s následujícím zastoupením mastných kyselin (v pořadí od nejvíce zastoupených po méně zastoupené): kyselina olejová, linolová, palmitová a stearová. [16]

Studie *Suitability of Spanish almond cultivars for the industrial production of almond oil and defatted flour* (2017) zkoumala zastoupení mastných kyselin v mandlovém oleji, přičemž poukazuje na zastoupení tří hlavních mastných kyselin:

- C18:1 (kyselina olejová) 56,64–64,03 %,
- C18:2 (kyselina linolová) 24,57–29,8 %,
- C16:0 (kyselina palmitová) 7,22–5,5 %.

A čtyř minoritních mastných kyselin:

- C17:1 (kyselina margarolejová) 0,076–0,093 %,
- C17:0 (kyselina margarínová) 0,06–0,05 %,
- C16:1 (kyselina palmitoolejová) 0,56–0,74 %,
- C18:0 (kyselina stearová) 2,45–3,57 %. [17]

Triacylglyceroly

Triacylglyceroly (TAG) jsou zastoupeny v mandlovém oleji z více jak 98 %, ale i přesto bylo provedeno málo studií, které by stanovily přesné složení TAG. [18]

3.2 Para ořechy

Para ořechy bývají často nazývány jako brazilské ořechy pocházející z Kolumbie, Peru a Brazílie. Obecně jsou para ořechy bohaté na živiny, minerální látky a vitamíny. Přesné chemické složení ale závisí na podnebí a kvalitě půdy, kde strom roste. Co se týče zastoupení mastných kyselin, převažuje zde kyselina linolová, olejová, palmitová a stearová. Podrobnějším zastoupením mastných kyselin se zabývám v praktické části diplomové práce. [56]

3.3 Pekanové ořechy

Pekanový ořech je původem z USA, ale rozšířil se do několika dalších částí světa včetně Austrálie, jižní Afriky a Jižní Ameriky. V současné době USA tvoří více než 80 % celkové světové produkce pekanových ořechů. Pekanové ořechy obsahují 70 % oleje, který se snadno získává lisováním. Co se týče obsahu mastných kyselin, tak největší zastoupení zde má kyselina olejová (~60 %). Přitom γ - olejová kyselina je převládající mastnou kyselinou. [59]

3.4 Makadamové ořechy

Makadamové ořechy jsou rozšířené v tropickém podnebí Austrálie, Nového Zélandu, Brazílie, Indonésie a jižní Afriky. Přestože existuje více druhů makadamových ořechů, jedlé jsou pouze 2 druhy: *Macadamia integrifolia* a *Macadamia tetraphylla*. Pro tyto ořechy je typická velmi tvrdá skořápka, která je obalena zelenou slupkou, a uvnitř se nachází krémově bílé jádro. Makadamové ořechy obsahují až 75 % tuku a řadí se mezi jeden z nejbohatších zdrojů kyseliny palmitoolejové. Kromě toho jsou bohaté na mikroživiny, jako je železo nebo selen, obsahují řadu vitamínů skupiny B (riboflavin, niacin, thiamin a folát) a další pro tělo prospěšné látky. [60]

Porovnání jednotlivých druhů ořechů

Níže uvádím pro přehled 2 tabulky. První zobrazuje obecné zastoupení PUFA, MUFA a SFA v ořeších a druhá tabulka porovnává zastoupení mastných kyselin a množství oleje ve 3 vybraných druzích ořechů.

Tabulka 4: Obecný přehled zastoupení mastných kyselin u vybraných druhů ořechů [63]

Druh ořechu	Mastné kyseliny			
	Celkový obsah tuku [g/100 g]	SFA [%]	MUFA [%]	PUFA [%]
Mandle	49–53	7–10	60–65	20–25
Vlašské	65–70	8–10	15–20	65–70
Para	66–70	15–20	40–45	35–40
Makadamové	75–80	12–15	80–85	2–5
Kešu	43–46	15–20	55–60	15–20
Pekanové	71–75	6–9	55–60	25–30
Piniové	68–70	5–7	20–25	50–55
Pistácie	44–48	10–12	50–55	30–35
Lískové	60–63	7–10	70–75	10–15

*SFA: nasycené mastné kyseliny; MUFA: mononenasycené mastné kyseliny; PUFA: polynenasycené mastné kyseliny

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že právě v mandlích najdeme největší množství mononenasycených mastných kyselin (69,7 %) a ve vlašských ořeších převažuje zastoupení polynenasycených mastných kyselin (70,7 %). V mandlích a arašídech převládá zastoupení MUFA a ve vlašských a para ořeších převažuje zastoupení PUFA.

Tabulka 5: Množství oleje a zastoupení MK u vybraných druhů ořechů [63]

	Mandle	Lískový	Pekanový
Množství oleje [%]	25,1–60,7	8,10–67	58–74
Zastoupení mastných kyselin [$g \cdot 100 g^{-1}$]			
C14:0	0–0,1	0–0,1	0,05–0,09
C16:0	4,7–15,8	4,5–6,5	6,4–7,6
C16:1	0,1–2,5	0,1–0,3	0,1–0,2
C18:0	0,3–2,5	0,4–3,8	2,2–2,8
C18:1	50,4–81,2	0,4–3,8	2,2–2,8
C18:2	6,21–37,1	6,5–15,6	27,2–37,7
C18:3	0–11,1	0,1–1,9	1,4–1,9
C20:0	0,1–0,2	0–0,2	0,34

4 OLEJE ZÍSKÁVANÉ Z OŘECHŮ

Oleje získávané z ořechů mají široké využití, ať už v kosmetickém průmyslu nebo v kuchyni. Množství energie, kterou ořechy obsahují, je dána vysokým obsahem tuku. Mastné kyseliny nacházející se v ořeších mají převážně nenasycený charakter (kyselina olejová), ale také se zde setkáváme s tzv. polynenasycenými mastnými kyselinami (PUFA). Kromě množství tuku, který se v olejích nachází, jsou ořechové oleje bohaté na komplexní sacharidy, vlákninu, bílkoviny, tokoferoly, fytosteroly a polyfenoly. [57] Některé studie uvádí, že přírodní fytosteroly v ořeších mohou být částečně zodpovědné za jejich účinek na snížení cholesterolu. [58]

4.1 Mandlový olej

Mandlový olej je bohatým zdrojem makronutrientů a mikronutrientů, dále obsahuje významný podíl polynenasycených a mononenasycených mastných kyselin, přičemž hlavní složkou je kyselina olejová, a významné množství tokoferolu a fytosterolů. Ve složení mandlového oleje lze nalézt určité rozdíly v závislosti na původu jader a použitém systému extrakce. Některé nové technologie jako je extrakce ultrazvukem, superkritická fluidní extrakce, subkritická fluidní extrakce a vodná extrakce za pomoci solí se staly nejslibnějšími extrakčními technikami, které umožňují ekologické a účinné získávání mandlového oleje. [19]

Mandloň (*Prunus dulcis*, *Prunus amygdalus* a *Prunus communis*) patří mezi nejstarší domestikované stromy, pocházející z jižní a střední Asie a rozšířený do dalších oblastí, například do Spojených států, Středomoří, Austrálie a střední Asie. [20]

Mandloně jsou opadavé stromy s různou velikostí, tvarem, vitalitou, růstem, způsobem větvení a se schopností vytvářet hluboký a rozsáhlý kořenový systém. Tyto vlastnosti ovlivňují produktivitu mandlí, jejich ořezávání a sklizeň. [21]

Na základě chuti byly identifikovány dvě hlavní odrůdy: hořká mandle (*P. amygdalus* „*amara*“) a mandle sladká (*P. amygdalus* „*dulcis*“). *P. amygdalus* „*dulcis*“, převládající pěstovaný druh, který je podmíněn jediným dominantním genem. [22]

Mandle jsou celosvětově považovány za nejpříjemnější a nejvíce konzumované stromové ořechy s využitím v potravinářství, kosmetickém a farmaceutickém průmyslu. [23]

Mandle jsou dobrým zdrojem vitaminů (vitaminu E, niacinu, riboflavinu atd.), minerálních látek (draslíku, fosforu, hořčíku, vápníku, železa, zinku, manganu, selenu, mědi atd.), makronutrientů (bílkovin, sacharidů, vlákniny atd.) a mastných kyselin (nasycených i nenasycených). [24]

Vliv genotypu, kultivaru či sklizně má velký vliv na chemické a nutriční složení mandlí. [25]

Využití

Několik klinických studií uvádí, že tento bezpečný olej má potenciální úlohu v řízení kardiovaskulárních rizik, homeostáze glukózy, snižování oxidačního stresu, neuroprotektci a v mnoha dermatologických a kosmetických aplikacích. Antikarcinogenní účinky a účinky mandlového oleje na plodnost však dosud nebyly experimentálně ověřeny. [19]

Pro jejich velmi dobrou chuť a vůni se mandle používají v potravinářství například jako snack (přírodní, pražené nebo ochucené) nebo jako složky v různých zpracovaných potravinách (mléčné výrobky, pečivo, sirupy, cukrářské výrobky). [26]

5 ZPŮSOBY ZÍSKÁVÁNÍ OLEJŮ Z OŘECHŮ

Jedlé rostlinné oleje jsou běžně získávány dvěma způsoby, a to lisováním za studena a extrakcí rozpouštědlem po předchozí úpravě. Oleje lisované za studena obsahují značné množství antioxidantů a bioaktivních látek (karotenoidy, vitamin A, vitamin E, fytoosteroly a polyfenoly), které jsou zdraví prospěšné. [27, 28]

5.1 Extrakce oleje

Při extrakci dochází k rozpouštění oleje za použití rozpouštědla jako je například hexan, petroleter, benzen nebo éter. Po odpaření rozpouštědla z roztoku získáme olej. Jako příklad extrakce ořechového oleje zde uvádím mandlový olej. [27]

Extrakce mandlového oleje

Z ořechů je třeba odstranit oplodí a epikarp, abychom mohli zahájit extrakci mandlového oleje. [29] Následuje krok sušení na slunci, horkým vzduchem, popř. konvekčním dehydrátorem s ultrazvukem nebo mikrovlnami. Předběžná úprava je důležitou operací při zpracování mandlí k zajištění dobré kvality oleje. [30] Tento krok je nezbytný ke snížení vlhkosti, omezení mikrobiologické aktivity a průběhu chemických reakcí, které mají nepříznivý vliv na kvalitu ořechů. [31]

Pro extrakci mandlového oleje se nejčastěji používají následující techniky: mechanické lisování, extrakce superkritickými kapalinami (SCO₂) a extrakce rozpouštědly. Zmíněné extrakční metody silně ovlivňují fyzikálně-chemické a bioaktivní vlastnosti oleje. [32]

Extrakce rozpouštědlem

Extrakce rozpouštědlem je nejstarší metodou běžně používanou z ekonomických a praktických důvodů. Je založena na schopnosti rozpouštědla rozpouštět olej a extrahovat jej z celého semene. [33] Nevýhodou je, že oproti lisování za studena může při extrakci rozpouštědlem docházet k přenosu nečistot do oleje a dosažení odlišných fyzikálně-chemických hodnot. Z toho vyplývá, že olej získaný Soxhletovou neboli rozpouštědlovou metodou může mít odlišné vlastnosti, zastoupení mastných kyselin a sterolů oproti oleji získanému lisováním za studena. [34]

Mezi nejčastěji používaná rozpouštědla při extrakci mandlového oleje patří hexan, petroleum ether, diethylether, chloroform a methanol s hexanem. [35] Dle studie *Krzyczkowské a Kozłowské (2017)* bylo zjištěno, že při použití rozpouštědel

chloroform/methanol dochází k získání většího výtěžku oleje, který je stabilnější a současně má vyšší obsah tokoferolů. Nebyl však zjištěn žádný významný rozdíl v zastoupení mastných kyselin, triacylglycerolů a sterolů. [36]

Vodný extrakční proces a vodná extrakce za pomoci soli

Během procesu vodní extrakce se používá samotná voda, jedná se o tzv. „zelený“ přístup při výrobě mandlového oleje. Ovšem výtěžek mandlového oleje je mnohem nižší (34,5 %), než je tomu při extrakci klasické (50–60 %) nebo při lisování (30–40 %). [37]

Alternativní metodou k vodnému extrakčnímu procesu byl vyvinut postup vodné extrakce za pomoci malého množství soli (chlorid sodný nebo uhličitan sodný). Bylo zjištěno, že při tomto procesu se výrazně snížilo množství kyseliny kyanovodíkové (HCN) v oleji z hořkých mandlí v porovnání s lisováním a extrakcí rozpouštědlem. [38]

5.2 Lisování

Lisování je považováno za nejšetrnější a precizní postup při získávání olejů, díky kterému si oleje zachovávají maximum cenných látek, živin, ale také typickou vůni a chuť. Oleje získávané lisováním jsou bohaté na mastné kyseliny, vitamíny a minerály, které jsou pro člověka prospěšné. Oproti jiným způsobům získávání olejů jsou oleje lisované za studena náchylnější na kažení či žluknutí a kvalita klesá s dobou skladování. [39]

Lisování mandlového oleje

K lisování mandlového oleje se běžně používají dva typy lisů, a to hydraulický a šroubový. [39] Metoda lisování má několik výhod, mezi které patří nízké provozní náklady, vznik minimálního množství znečišťujících a nebezpečných látek. [40] Studie *Sena-Moreno et al. (2016)* dokázala, že lisování neovlivňuje zastoupení mastných kyselin či sterolů v mandlovém oleji. Současně bylo dokázáno, že olej získaný lisováním obsahuje více tokoferolů a sterolů, než tomu je u oleje získaného extrakcí rozpouštědlem při 50 °C. [41]

5.3 Další možnosti získávání mandlového oleje

Mezi další metody využívané pro získávání olejů patří vodná extrakce pomocí enzymů. Tato metoda má několik výhod: umožňuje rychlé získání oleje z většiny olejnatých semen a je považována za slibnou ekologicky šetrnou alternativní metodu. [42]

Alternativní metodou je také extrakce pomocí ultrazvuku. Za pomoci vysokofrekvenčních vln dochází k rozpadu buněčné stěny a uvolnění intracelulárních látek do rozpouštědla. [43]

Další metodou je superkritická fluidní extrakce, založená na použití oxidu uhličitého. Tato metoda je v posledních letech považována za slibnou alternativu ke konvenčním metodám získávání rostlinných olejů. [44]

6 OXIDAČNÍ STABILITA

Jednou z nejzákladnějších reakcí v chemii je oxidace. Právě oxidační reakce hrají důležitou roli v souvislosti s kvalitou potravin či kosmetických výrobků. [45]

Strukturní změny lipidů způsobené vlivem oxidace jsou považovány za hlavní problém při skladování tuků, olejů a také výrobků, které tyto složky obsahují. Oxidace lipidů má na svědomí nežádoucí příchutě a vůně, snižuje nutriční kvalitu tuků a olejů a vede k produkci toxických sloučenin. Rychlost oxidace mastných kyselin se zvyšuje se stupněm nenasycení a snižuje se s přítomností antioxidantů rozpustných v tucích. [20]

Využitím vhodných zpracovatelských technik, které minimalizují ztráty tokoferolů a jiných přírodních antioxidantů lze pozitivně oxidační stabilitu ovlivnit. [45]

Rychlost oxidace závisí na několika faktorech:

- množství polynenasycených mastných kyselin,
- teplota,
- tlak,
- sluneční záření,
- katalyzátory a inhibitory,
- voda a další nelipidové složky.

Ořechy s vyšším zastoupením polynenasycených mastných kyselin, jako jsou například vlašské nebo piniové ořechy, podléhají oxidaci rychleji než ořechy s obsahem mononenasycených kyselin. Nasycené mastné kyseliny můžeme naopak považovat za téměř stabilní. S rostoucí teplotou, tlakem a ozářením se oxidace zrychluje. Oxidaci lze katalyzovat pomocí těžkých kovů, a naopak inhibovat působením antioxidantů. Vliv na rychlost oxidace má také voda a další nelipidové složky. [45]

6.1 Měření oxidační stability

V diplomové práci jsem oxidační stabilitu měřila pomocí přístroje Rancimat. Rancimat je metoda založena na procesu, který urychluje stárnutí vzorku zvýšením teploty a nepřetržitým proudem vzduchu, již prochází vzorkem. Proud vzduchu s sebou nese těkavé oxidační produkty ze vzorkovací nádoby do nádoby s destilovanou vodou, ve které je neustále měřena

vodivost vody. Při náhlém prudkém zvýšení hodnoty vodivosti vody je zaznamenán indukční čas. Indukční čas neboli perioda je označována za standardní parametr při testování kvality tuků a olejů. [36]

6.2 Oxidační stabilita mandlového oleje

Trvanlivost mandlového oleje lze předpovědět na základě oxidační stability a podle složení mastných kyselin. Studie dokazují, že velký vliv na hodnotu oxidační stability má odrůda. Zatímco některé studie uvádí oxidační stabilitu mandlového oleje mezi časy 17,25 – 23,49 h. [46] Studie dle KOCHHAR, S. P. (*Oxidative stability and shelf-life evaluation of selected culinary oils*) zaznamenala při stejných podmínkách (měření oxidační stability metodou Rancimat, teplota 120 °C) odlišné výsledky, hodnota indukční doby byla mnohem nižší a nabývala hodnoty 10,2 h. [47]

Podmínky, které byly stanoveny pro průběh oxidační stability: index oxidační stability mandlí byl stanoven metodou Rancimat, která se měří pomocí přístroje Metrohm; oleje byly zahřívány na teplotu $100 \pm 1,6$ °C; průtok vzduchu 20 l/h a oxidační stabilita byla vyjádřena indukční dobou (IT). [55]

Je dokázáno, že různé indukční doby souvisí s rozdílným obsahem fenolických sloučenin, tokoferolů a mastných kyselin v oleji. Stabilita oleje je také ovlivněna zpracováním a skladováním, a to především skladovacími podmínkami jako je světlo, teplota, kyslík, vlhkost a přechodné kovy. [48] Bylo zjištěno, že pražení mandlí před samotnou extrakcí mandlového oleje zvyšuje jeho stabilitu a to především díky inaktivaci enzymů, tvorbě antioxidačních sloučenin, snížení vlhkosti a vyššímu obsahu přirozených antioxidantů v oleji. Tyto faktory prodlužují trvanlivost mandlového oleje a zpomalují oxidační procesy. Obecně lze říci, že největší vliv na stabilitu mandlového oleje má obsah minoritních látek jako jsou fenoly, tokoferoly a také zastoupení mastných kyselin. Odrůdy zvané *Marcona*, *Ferragnes* a *Ferraduel* jsou tři odrůdy, které jsou nejčastěji pěstované v Maroku právě pro jejich vysokou oxidační stabilitu a zastoupení minoritních látek, které zpomalují oxidační procesy, jak již bylo uvedeno výše. [49]

6.3 Srovnání oxidační stability jednotlivých druhů ořechů

Studie ukazují, že oleje získané extrakcí chloroformem nebo methanolem jsou odolnější vůči oxidaci oproti olejům extrahovaným za pomoci hexanu. Dále je dokázáno, že oleje zbavené

minoritních složek vykazují nižší stabilitu oproti olejům, v nichž byly zachovány minoritní složky. Nejvyšší oxidační stabilitu dle studií vykazoval pekanový olej, který byl extrahován pomocí chloroformu nebo methanolu. Tento olej vykazoval nejnižší hodnoty primárních i sekundárních oxidačních produktů při zrychlené oxidaci probíhající po dobu 12 dnů. Relativně vysoká stabilita extrahovaného pekanového oleje je pravděpodobně dána bohatým obsahem tokoferolů a nízkým stupněm nenasycenosti, což se přímo odráží v nízké hodnotě jodového čísla. [50]

Studie zaměřené na arašidy neboli podzemnici olejnou dokazují, že vlastnosti výsledného oleje jsou ovlivněny odrůdou, regionem, teplotou při zpracování, pražením a tím, zda byla nebo nebyla odstraněna slupka z povrchu. [51]

6.4 Oxidační produkty

Ořechy obsahují vysoké množství nenasycených mastných kyselin, což způsobuje zvýšenou náchylnost ke žluknutí. [53] Žluknutí tuků můžeme rozlišit na hydrolytické a oxidativní. Vlivem hydrolytického žluknutí dochází k uvolnění volných mastných kyselin. Oproti tomu výsledkem oxidativního žluknutí jsou aldehydy, ketony nebo mastné kyseliny s krátkým řetězcem. [45]

Oxidace lipidů probíhá v počátečních fázích pomalu a postupně narůstá až k velmi rychlému průběhu. Pro popis rychlosti průběhu oxidace lipidů byl zaveden termín indukční perioda. Indukční perioda je doba, po kterou dochází k vysokému nárůstu oxidace. V praxi je jedná o dobu, po kterou dochází ke kontinuálnímu oxidačnímu cyklu v procesu oxidace tuku. [54] K určení indukční periody neboli indukčního času se používá několik analytických metod. Metody jsou založeny na stanovení oxidovaných sloučenin: peroxidové, thiobarbiturové a anisidinové číslo; množství konjugovaných dienu; množství trienů nebo analýza těkavých oxidačních produktů. Současně se tyto metody využívají pro posouzení kvality tuků a olejů. [54]

Samotná reakce oxidace lipidů probíhá v několika krocích: tvorba volných lipidových radikálů, iniciace oxidačního procesu, tvorba hydroperoxidů jako primárních reakčních produktů, tvorba sekundárních oxidačních produktů a případně vznik terciálních produktů oxidace. [45]

7 PEROXIDOVÉ A JODOVÉ ČÍSLO

Peroxidové číslo je používanou charakteristikou, která vypovídá o oxidační stabilitě tuků a olejů za podmínek při kterých jsou skutečně skladovány. Pro určení přesnější oxidační stability je třeba stanovit celkový obsah antioxidantů a transmastných kyselin, které jsou ukazatelem předchozího tepelného poškození tuku či oleje. Tyto informace slouží k posouzení a kontrole kvality používaných tuků a olejů ve výrobě. [52]

Jodové číslo udává obsah nenasycených mastných kyselin, dle definice se jedná o množství (%) halogenu přepočítaného na jód, které může zkoumaný vzorek vázat za daných podmínek. Jodové číslo je často používanou metodou pro zjištění původu a kvality tuku. [64]

V praktické části diplomové práce se budu dále zabývat stanovením peroxidového a jodového čísla u vyextrahovaných olejů.

8 VYUŽITÍ OŘECHŮ A JEJICH OLEJŮ V KOSMETICE A POTRAVINÁŘSTVÍ

Ořechy a oleje extrahované z nich jsou často používány jak v potravinářském, tak v kosmetickém průmyslu. Ořechové oleje se získávají pomocí mechanického lisování nebo zmiňovanou extrakcí rozpouštědlem.

Přírodní oleje jsou v kosmetice hojně oblíbenou hydratační složkou, která má okluzivní účinky a také zastává funkci změkčovadla. S ořechovými oleji se můžeme setkat v mnoha kosmetických formách: čisté oleje, směsi olejů, krémy, koupelové oleje, balzámy na rty, tělové oleje a další. Nevýhodou ořechových olejů a olejů všeobecně je jejich nižší oxidační stabilita, která se projevuje žluknutím. Jedná se o proces, kdy dochází k chemické degradaci a vzniku nepříjemných chutí a pachů. Tento průběh je spojen s oxidací a hydrolyzou mastných kyselin. [61]

Ořechové oleje jsou v kosmetickém průmyslu populární a neustále vychází nové studie, které se zabývají účinky olejů na pleť a vzhled všeobecně. Například ve studii zaměřené na makadamový olej bylo zjištěno, že olej z makadamových ořechů lze použít ve formě krému proti známkám stárnutí pokožky. [62]

Ořechové oleje jsou nedílnou součástí potravinářského průmyslu. Kromě vysokého obsahu vitamínů, minerálních látek a antioxidantů jsou i chuťově nenahraditelné. Ořechové oleje se nejčastěji používají ve studené kuchyni, asi nejznámějším zástupcem je kokosový olej, ovšem na trhu se setkáme s širokou nabídkou dalších olejů jako je například mandlový, vlašský, lískový nebo makadamový. [65]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 EXTRAKCE

Přístroje

Aparatura na míchání, rotační vakuová odparka

Chemikálie

Petroleum spirit, síran sodný

Postup

Do baněk jsem navážila rozmělněné ořechy, přidala rozpouštědlo petroleum spirit a při teplotě 40–60 °C nechala míchat při 210–260 otáček/min na příslušné aparatuře po dobu 2 hodin. U mandlí byly nastaveny otáčky na 260 otáček/min a u para ořechů bylo míchání pomalejší: 210 otáček/min. Následně jsem sestavila aparaturu pro filtraci oleje, přidala síran sodný, nastavila odparku na 45 °C a zvolila 125 otáček/min. Výtěžek oleje jsem následně vážila v daných časových intervalech a sledovala změny.

1. Extrakce oleje z nahrubo nadrcených mandlí a para ořechů

Tabulka 6: Navážka nahrubo nadrcených mandlí a para ořechů

Mandle [g]	Petroleum spirit [ml]	Para ořechy [g]	Petroleum spirit [ml]
50,3	100	50,2	100

Tabulka 7: Výtěžek oleje

Výtěžek oleje	Mandle [g]	Para ořechy [g]
Ihned po odpaření	8,0	15,4
24 h po odpaření	7,5	11,7
Výtěžek oleje [%]	14,9	23,3

2. Extrakce oleje z najemno nadrcených mandlí a para ořechů

Tabulka 8: Navážka najemno nadrcených mandlí a para ořechů

Mandle [g]	Petroleum spirit [ml]	Para ořechy [g]	Petroleum spirit [ml]
50,3	100	50,0	100

Tabulka 9: Výtěžek oleje

Výtěžek oleje	Mandle [g]	Para ořechy [g]
Ihned po odpaření	13,0	20,1
24 h po odpaření	11,7	17,8
Výtěžek oleje [%]	23,3	35,6

3. Extrakce oleje z nahrubo nadrcených pekanových a makadamových ořechů

Tabulka 10: Navážka nahrubo nadrcených pekanových a makadamových ořechů

Pekanové ořechy [g]	Petroleum spirit [ml]	Makadamové ořechy [g]	Petroleum spirit [ml]
50,6	100	50,8	100

Tabulka 11: Výtěžek oleje

Výtěžek oleje	Pekanové ořechy [g]	Makadamové ořechy [g]
Ihned po odpaření	15,3	13,2
24 h po odpaření	13,2	9,4
Výtěžek oleje [%]	26,1	18,5

9.1 Vyhodnocení

Extrakci rozpouštědlem byly podrobeny 4 zkoumané druhy ořechů: mandle, para, makadamové a pekanové ořechy. Po odpaření na vakuové odparce došlo i po 24 hodinách k poklesu hmotnosti, to je dáno tím, že došlo ještě k odpaření zbytku těkavých látek (vody a rozpouštědla) a až poté došlo k ustálení hmotnosti. Tento proces se opakoval ve všech případech extrakcí 1–3.

Nejvyšší výtěžek oleje byl zaznamenán u najemno rozdrcených para ořechů (35,6 %) a naopak nejmenší výtěžek oleje byl u nahrubo rozdrcených mandlí (14,9 %). Srovnání výtěžků oleje po extrakci uvádím níže v Tabulce 12.

Při srovnání mých naměřených výsledků s odbornou literaturou docházím k následujícímu závěru: studie „*Characterization of physico-chemical and bioactive properties of oils of some important almond cultivars by cold press and soxhlet extraction*“ uvádí výtěžky mandlového oleje extrakcí v rozmezí 60–70 %, což je podstatně vyšší výtěžek, než kterého jsem dosáhla já v laboratoři. Odlišné výsledky mohou být dány jinými podmínkami měření, v uvedené studii byl použit hexan jako rozpouštědlo a já použila petroleum spirit. [71]

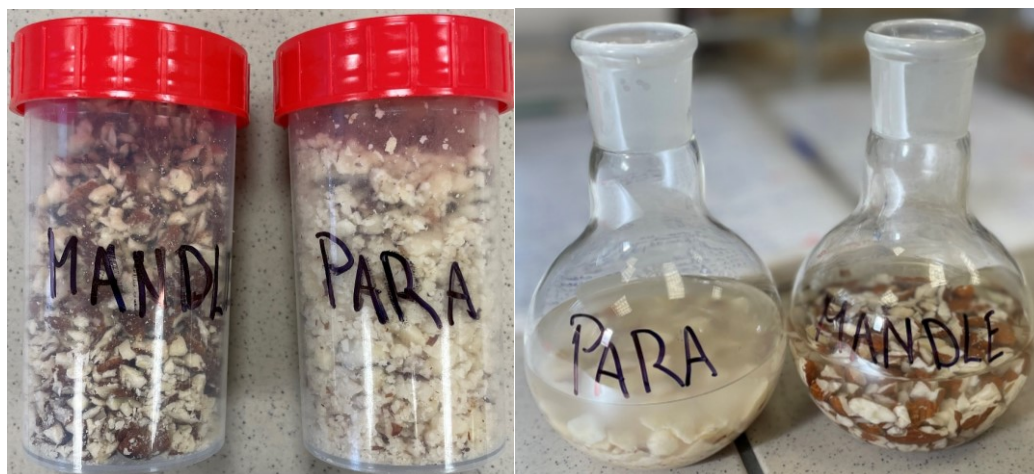
Studie „*Macadamia oil extraction methods and uses for the defatted meal byproduct*“ dosáhla také vyššího výtěžku oleje, než se podařilo mně. Výtěžek oleje při extrakci hexanem se pohyboval v rozmezí 92–95 %. [72]

Studie prováděna na pekanovém oleji „*Mass Balances in Porous Foods Impregnation*“ uvádí výtěžek až 90 %. Tato studie současně tvrdí, že pekanové ořechy mají podobný obsah oleje jako ořechy makadamové, ale výtěžek oleje může být ovlivněn (snížen) vyšším obsahem vlákniny a nižší hustotou oleje. [73]

U para ořechů dle studie „*Storage stability of hen egg white powders in three protein/water dough model systems*“ vychází výtěžek oleje také vyšší (kolem 90 %), než jsem naměřila já pomocí extrakce rozpouštědlem petroleum spirit. [74]



Obrázek 1: Celé mandle a para ořechy



Obrázek 2: Najemno nadrcené mandle a para ořechy

Obrázek 3: Mandle a para ořechy po extrakci rozpouštědlem petroleum spirit

Tabulka 12: Srovnání výtěžků oleje u jednotlivých druhů ořechů

Druh a forma ořechu	Pekanové ořechy (nahrubo rozdrcené)	Makadamové ořechy (nahrubo rozdrcené)	Mandle (nahrubo rozdrcené)	Mandle (najemno rozdrcené)	Para ořechy (nahrubo rozdrcené)	Para ořechy (najemno rozdrcené)
Výtěžek oleje [%]	26,1	18,5	14,9	23,3	23,3	35,6

10 SOXHLETOVA EXTRAKCE

Přístroje

Soxhletův extraktor, rotační vakuová odparka, topné hnízdo



Obrázek 4: Soxhletův extraktor s rozdrcenými pekanovými a makadamovými ořechy

Chemikálie

Petrolether

Postup

Rozmělněné ořechy byly zváženy a umístěny do extrakční komory Soxhletovy aparatury. Baňka s rozpouštědlem (petroletherem), která se nachází ve spodní části aparatury, je zahřívána, tím se rozpouštědlo postupně odpařuje a páry stoupají do chladiče, kde kondenzují a kapalně rozpouštědlo kape do extrakční komory. Petrolether v komoře postupně rozpouští nadrcené ořechy a jakmile hladina v komoře dosáhne určité hranice, tak sifonový mechanismus umožní odtok rozpouštědla zpět do baňky. Tam se rozpouštědlo opět ohřeje a proces se opakuje. Soxhletova extrakce probíhala 4 hodiny a po uplynutí tohoto

času byla směs přefiltrována. Odparka byla nastavena na 45 °C a 82 otáček a postupně došlo k odpaření rozpouštědla, dokud nezůstal v baňce čistý olej. Po odpaření rozpouštědla byl výtěžek zvážěn ihned a pak znovu následující den. Pro každý druh ořechu byla z časových důvodů provedena pouze 1 Soxhletova extrakce.

1. Extrakce oleje z mandlí a para ořechů

Tabulka 13: Navážka nahrubo nadrcených mandlí a para ořechů

Mandle [g]	Petrolether [ml]	Para ořechy [g]	Petrolether [ml]
55,1	350	68,2	350

Tabulka 14: Výtěžek oleje

Výtěžek oleje	Mandle [g]	Para ořechy [g]
Ihned po odpaření	13,9	31,0
24 h po odpaření	13,3	28,6
Výtěžek oleje [%]	24,1	41,9

2. Extrakce oleje z pekanových a makadamových ořechů

Tabulka 15: Navážka nahrubo nadrcených pekanových a makadamových ořechů

Pekanové ořechy [g]	Petrolether [ml]	Makadamové ořechy [g]	Petrolether [ml]
68,8	350	62,1	350

Tabulka 16: Výtěžek oleje

Výtěžek oleje	Pekanové ořechy [g]	Makadamové ořechy [g]
Ihned po odpaření	9,4	16,4
24 h po odpaření	8,9	14,2
Výtěžek oleje [%]	12,9	22,9

10.1 Vyhodnocení

Soxhletově extrakci byly podrobeny 4 zkoumané druhy ořechů: mandle, para, makadamové a pekanové ořechy. Nejvyšší výtěžek oleje byl zaznamenán u rozdrcených para ořechů (41,9 %) a naopak nejmenší výtěžek oleje byl u rozdrcených pekanových ořechů (12,9 %). Srovnání výtěžků oleje po Soxhletově extrakci uvádím níže v Tabulce 17.

Tabulka 17: Srovnání výtěžků oleje u jednotlivých druhů ořechů

Druh a forma ořechu	Pekanové ořechy	Makadamové ořechy	Mandle	Para ořechy
Výtěžek oleje [%]	12,9	22,9	24,1	41,9

Tabulka 18: Srovnání výtěžků oleje po Soxhletově a extrakci rozpouštědlem

Druh ořechu					
		Pekanové ořechy	Makadamové ořechy	Mandle	Para ořechy
Výtěžek oleje [%]	Soxhletova extrakce	12,9	22,9	24,1	41,9
	Extrakce rozpouštědlem	26,1	18,5	19,1	29,5

Při srovnání výtěžku oleje po extrakci rozpouštědlem a Soxhletově extrakci lze říci, že ořechy (s výjimkou pekanového ořechu) podrobené Soxhletově extrakci dosahovaly vyšších výtěžků oleje. Výše uvádím Tabulku 18, která srovnává výtěžky olejů po extrakci rozpouštědlem a Soxhletově extrakci. Publikované studie také potvrzují, že Soxhletova extrakce přináší vyšší výtěžky (90–95 %) oleje oproti extrakci rozpouštědlem (70–85 %). [68]

11 ESTERIFIKACE

Přístroje

Aparatura s topným hnízdem a dělicí nálevky

Chemikálie

Methanolát sodný, methanol, toluen, NaCl, síran sodný

Postup

Do 100ml varné baňky jsem navážila $2,5 \pm 0,3$ g vzorku v případě ořechů pro esterifikaci in-situ, samotného vyextrahovaného oleje to bylo $0,5 \pm 0,05$ g. Následně jsem přidala 10 ml 1% methanolátu sodného v methanolu a 0,5 ml toluenu. Do varné baňky přidala 15 ml čistého methanolu a 0,5–1,0 ml toluenu. K připravené suspenzi jsem přidala varné kamínky a nechala vařit na topném hnízdě pod zpětným chladičem po dobu 40 minut. Poté jsem topné hnízdo odstranila a baňku ochladila pod tekoucí vodou. Obsah baňky přefiltrovala do dělicí nálevky. Baňku a tuhý podíl jsem dvakrát promyla 10 ml hexanu přímo do dělicí nálevky. K obsahu dělicí nálevky jsem přidala 10 ml 20% roztoku NaCl. Celý objem jsem protřepala a vodná fáze se oddělila a vylila. Pak jsem znovu přidala hexan, protřepala a oddělila vodnou fázi. Do dělicí nálevky jsem k organické fázi přidala dalších 10 ml 20% roztoku NaCl a opět protřepala a oddělila. Organickou fázi jsem nadávkovala do Erlenmeyerovy baňky a k ní přidala Na_2SO_4 jako sušidlo. Po promíchání jsem nechala roztok 15 minut odstát a následně přefiltrovala do odměrné baňky a uskladnila v ledničce.

1. In-situ esterifikace, použití rozdrčených mandlí a para ořechů

Tabulka 19: Navážka ořechů a chemikálií

Mandle [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]	Para ořechy [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]
2,558	30	0,5	2,513	30	0,5

2. In-situ esterifikace, použití oleje z mandlí a para ořechů

Tabulka 20: Navážka olejů a chemikálií

Mandlový olej [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]		Olej z para ořechů [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]
0,508	15	0,5		0,544	15	0,5

3. In-situ esterifikace, použití rozdrcených mandlí a para ořechů

Tabulka 21: Navážka ořechů a chemikálií

Mandle [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]		Para ořechy [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]
2,536	25	0,5		2,537	25	0,5

4. In-situ esterifikace, použití oleje z pekanových a makadamových ořechů

Tabulka 22: Navážka olejů a chemikálií

Makadamový olej [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]		Pekanový olej [g]	Methanol [ml]	Toluen [ml]
0,519	25	0,5		0,538	25	0,5

11.1 Vyhodnocení

Získanou organickou fází jsem uskladnila v ledničce a následně použila pro plynovou chromatografii.

12 PLYNOVÁ CHROMATOGRRAFIE

Přístroje a nastavení

Plynový chromatograf

- **Starší model:** chromatograf Shimadzu GC 14 A s plamenově ionizačním detektorem (FID) a polární kolonou Agilent DB-Wax; délka kolony 25 m; vnitřní průměr 0,2 mm; tloušťka filmu 0,2 μm ; teplota detektoru 230 °C; teplota nástřiku 225 °C; průtok dusíku 2,5 kg/cm²; nástřikový objem 2 μl .

Teplotní profil na koloně:

Počáteční teplota 110 °C (setrvání 3 min), ohřev na 220 °C rychlostí 15 °C/min, při 220 °C setrvání 10 min.

- **Novější model:** Shimadzu GC-2010 Pro s plamenově ionizačním detektorem (FID) a polární kolonou SH-FAME – (165 FAMEs) by Shimadzu; délka kolony 30 m; vnitřní průměr 0,25 mm; tloušťka filmu 0,25 μm ; teplota detektoru 260 °C, teplota nástřiku 250 °C; průtok dusíku 1,5 ml/min; nástřikový objem 1 μl a splitovací poměr 1:100. Teplota detektoru i injektoru 250 °C.

Teplotní profil na koloně:

Počáteční teplota 165 °C, ohřev na 240 °C rychlostí 5 °C/min, při 240 °C setrvání 10 min.



Obrázek 5: Plynový chromatograf Shimadzu GC-2010 Pro

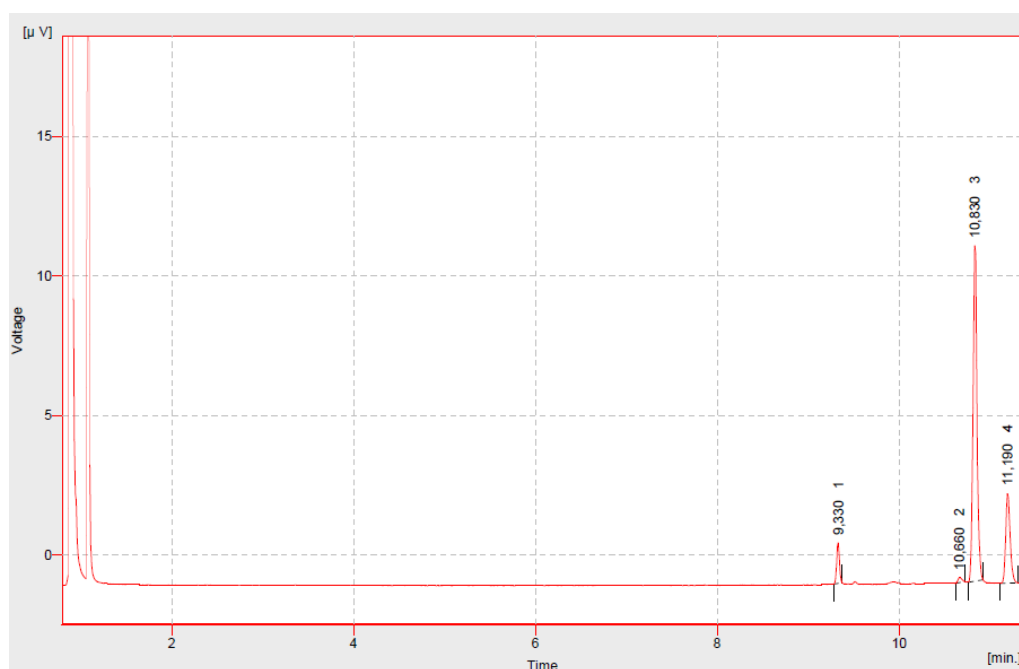
Chemikálie

Kyselina linolenová

Postup

Pomocí mikrostříkačky jsem postupně aplikovala jednotlivé vzorky do přístroje. Před samotnou analýzou jsem nejdříve vzorky methylesterů naředila do příslušných vialek. Do vialky jsem nadávkovala vzorek a hexan v poměru 1:3 až 1:6. Jednotlivé druhy ořechů (mandle, para ořechy, pekanové a makadamové ořechy) byly esterifikovány a analyzovány pomocí plynové chromatografie. Výsledná data jako retenční časy, plochy píků a zastoupení mastných kyselin jsou uvedeny v následujících grafech a tabulkách.

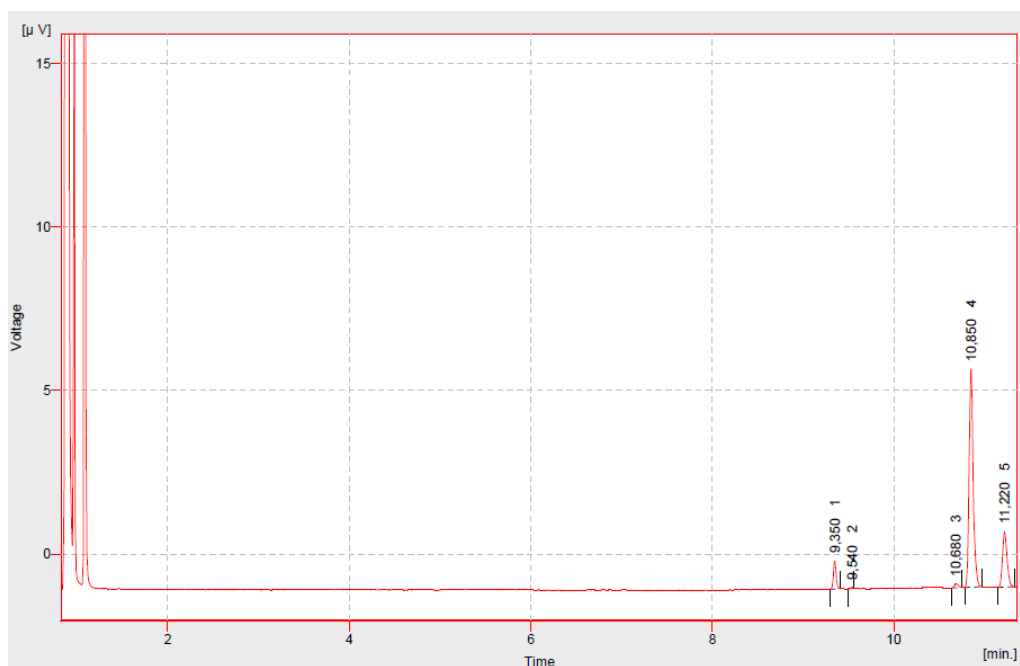
12.1 Plynová chromatografie pomocí přístroje Shimadzu GC-14A



Obrázek 6: Graf chromatogramu – Mandle in-situ

Tabulka 23: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro mandle in-situ

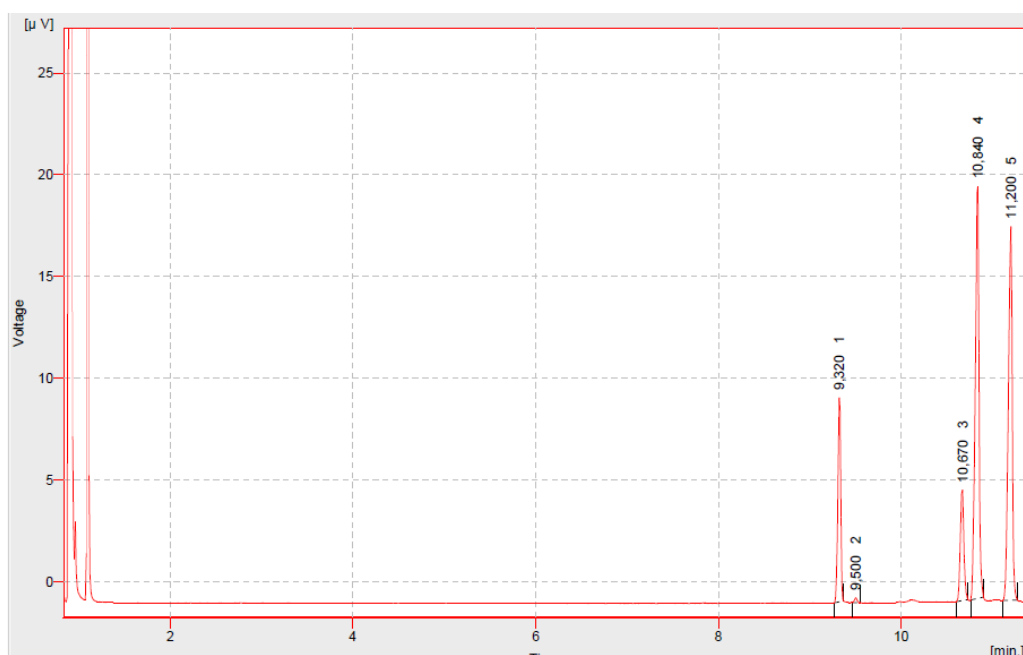
Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	9,360	9,9	Palmitová (C16:0)
2	9,660	5,9	Palmitolejová (C16:1)
3	10,790	1,9	Stearová (C18:0)
4	10,990	71,9	Olejová (C18:1)
5	11,370	15,3	Linolová (C18:2)



Obrázek 7: Graf chromatogramu – Mandlový olej

Tabulka 24: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro mandlový olej

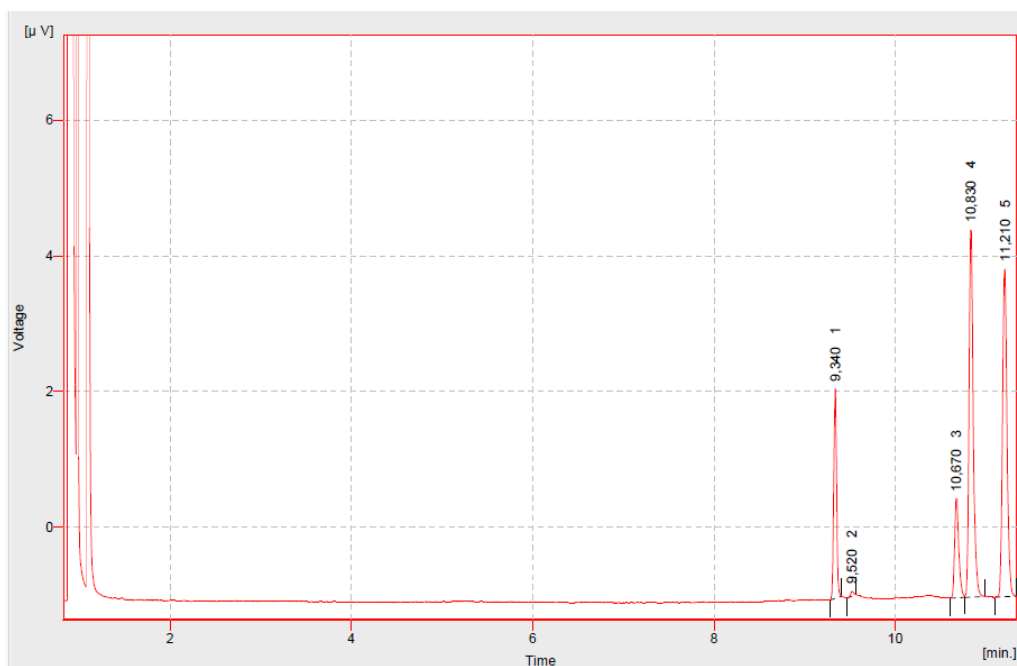
Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	9,350	6,2	Palmitová (C16:0)
2	9,540	0,3	Palmitoolejová (C16:1)
3	10,680	1,1	Stearová (C18:0)
4	10,850	71,8	Olejová (C18:0)
5	11,220	20,6	Linolová (C18:2)



Obrázek 8: Graf chromatogramu – Para ořech in-situ

Tabulka 25: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro para ořech in-situ

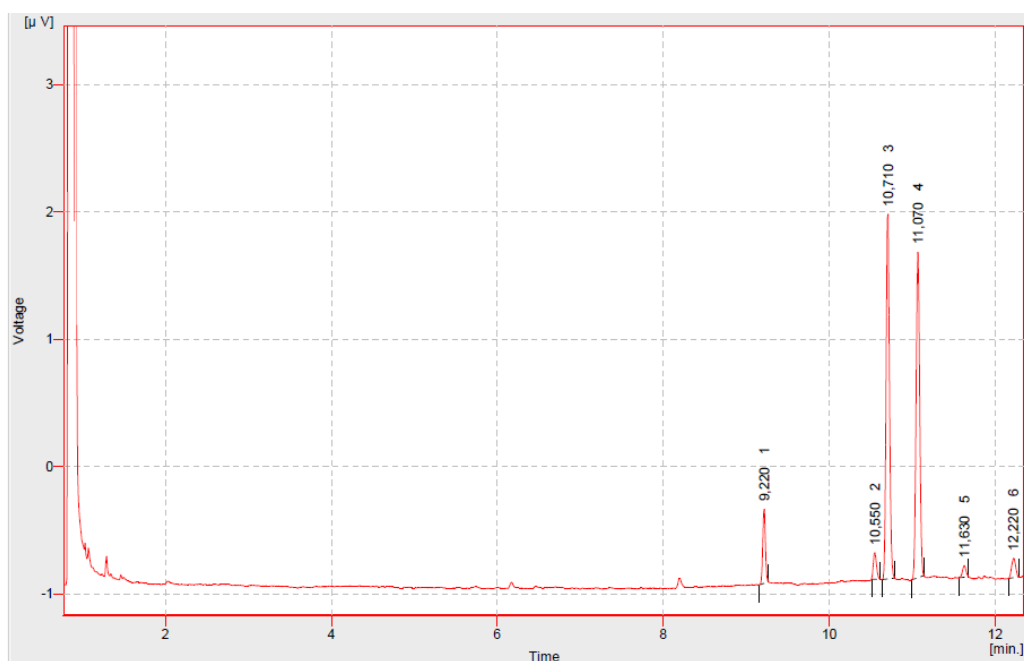
Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	9,320	14,4	Linolenová (C18:3)
2	9,500	0,3	Myristová (C14:0)
3	10,670	9,9	Olejová (C18:0)
4	10,840	39,1	Palmitová (C16:0)
5	11,200	36,2	Stearová (C18:0)



Obrázek 9: Graf chromatogramu – Olej z para ořechů

Tabulka 26: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro olej z para ořechů

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	9,340	14,7	Myristová (C14:0)
2	9,520	0,3	Palmitová (C16:0)
3	10,670	10,2	Stearová (C18:0)
4	10,830	38,4	Olejová (C18:1)
5	11,210	36,3	Linolová (C18:2)



Obrázek 10: Graf chromatogramu – Standard A

Tabulka 27: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro Standard A

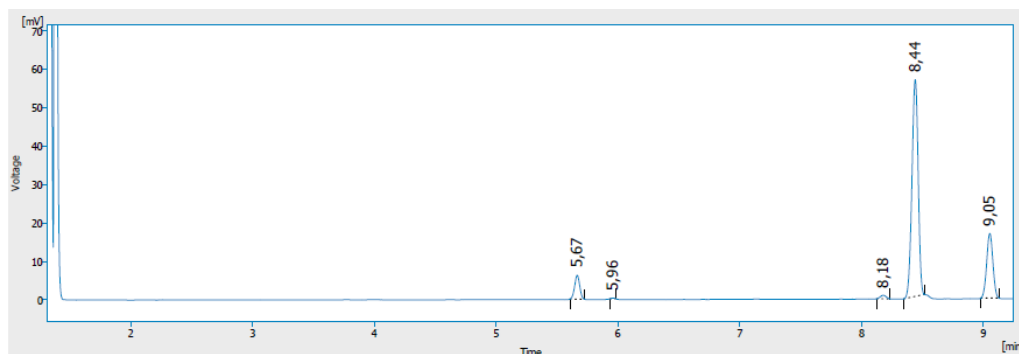
Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	9,550	7,0	Myristová (C14:0)
2	10,710	44,2	Palmitová (C16:0)
3	11,070	41,6	Stearová (C18:0)
4	11,630	5,5	Olejová (C18:1)
5	12,220	2,7	Linolová (C18:2)

Tabulka 28: Poměry zastoupených mastných kyselin ve vzorcích; plynová chromatografie na přístroji Shimadzu GC-14A

Název mastné kyseliny	Mandle		Para ořech		Standard A
	Ořech	Olej	Ořech	Olej	
[%] Plocha píku					
Myristová	-	-	0,3	14,7	7,0
Palmitová	6,4	5,6	39,1	0,3	44,2
Palmitolejová	0,1	0,3	-	-	-
Stearová	1,1	1,2	36,2	10,2	41,6
Olejová	71,2	72,2	9,9	38,4	5,5
Linolová	21,2	20,1	-	36,3	2,7
Linolenová	-	-	14,4	-	-
Eruková	-	0,7	-	-	-

12.2 Plynová chromatografie pomocí Shimadzu GC-2010 Pro

Mandle in-situ

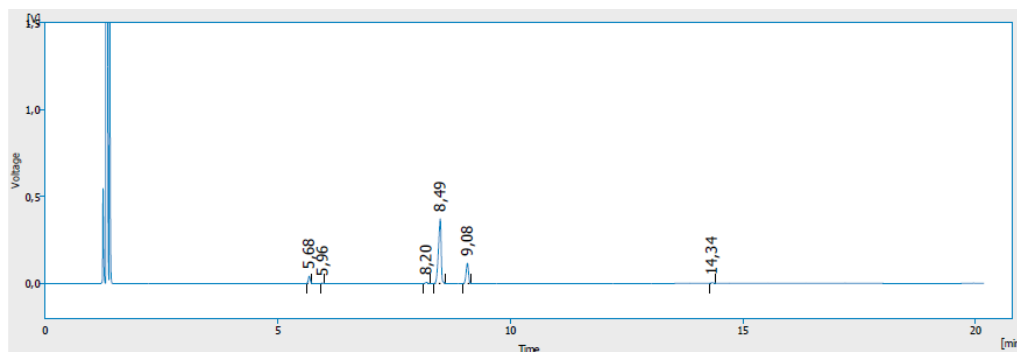


Obrázek 11: Graf chromatogramu – Mandle in-situ

Tabulka 29: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro Mandle in-situ

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	5,667	6,4	Palmitová (C16:0)
2	5,958	0,1	Palmitolejová (C16:1)
3	8,178	1,1	Stearová (C18:0)
4	8,442	71,2	Olejová (C18:1)
5	9,053	21,2	Linolová (C18:2)

Mandlový olej

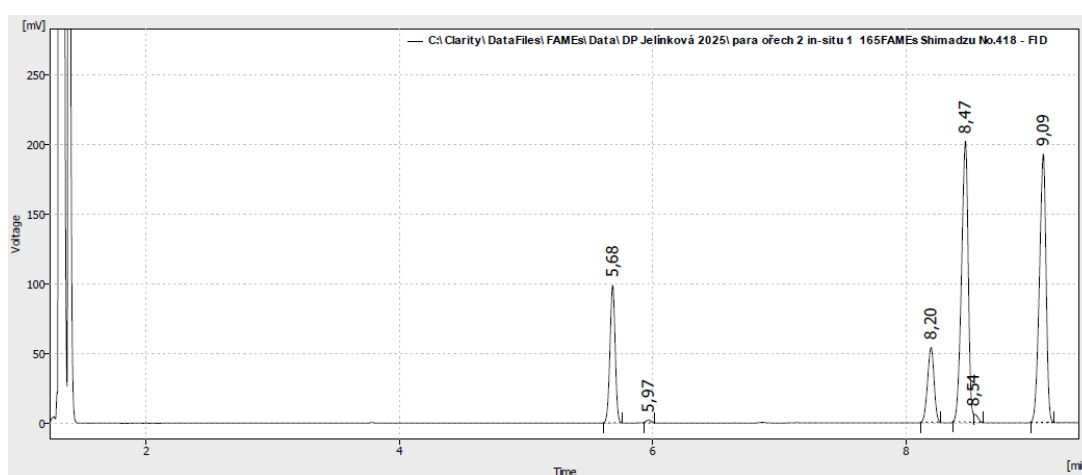


Obrázek 12: Graf chromatogramu – Mandlový olej

Tabulka 30: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro mandlový olej

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	5,667	5,6	Palmitová (C16:0)
2	5,965	0,3	Palmitolejová (C16:1)
3	8,197	1,2	Stearová (C18:0)
4	8,492	72,2	Olejová (C18:1)
5	9,077	20,1	Linolová (C18:2)
6	14,335	0,7	Eruková (C22:1 n-9)

Para ořechy in-situ

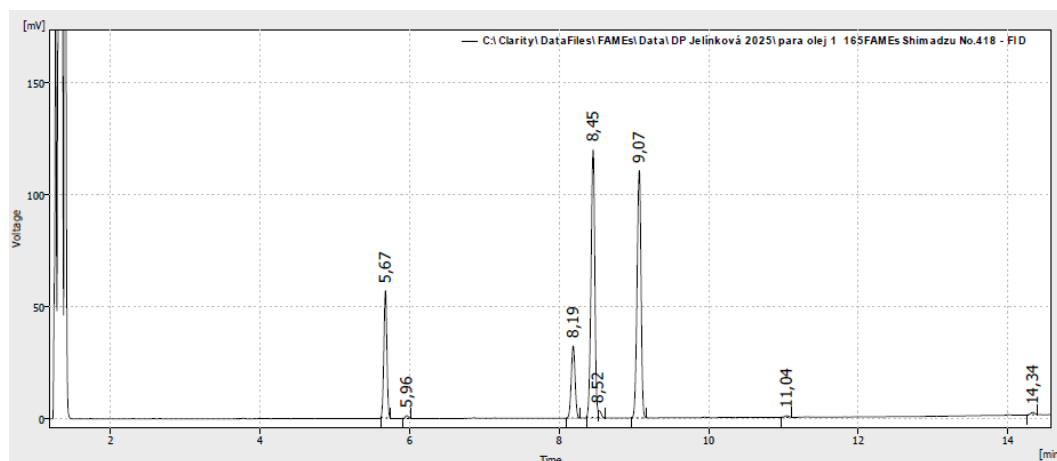


Obrázek 13: Graf chromatogramu – Para ořechy in-situ

Tabulka 31: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro para ořechy in-situ

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	5,685	14,6	Palmitová (C16:0)
2	5,968	0,3	Palmitoolejová (C16:1)
3	8,200	9,9	Stearová (C18:0)
4	8,472	38,3	Olejová (C18:1)
5	8,5383	0,7	Vakcenová/elaidová (C18:1)
6	9,087	36,2	Linolová (C18:2)

Olej z para ořechů

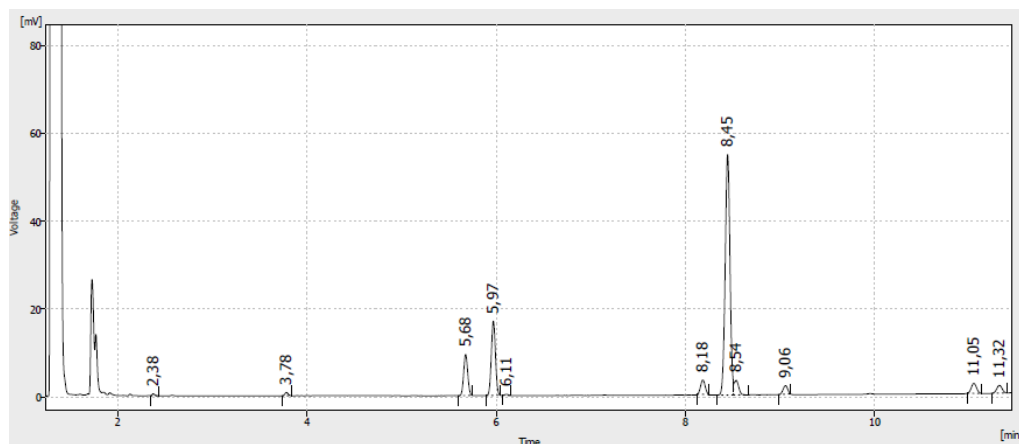


Obrázek 14: Graf chromatogramu – Olej z para ořechů

Tabulka 32: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro olej z para ořechů

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	5,675	14,3	Laurová (C12:0)
2	5,962	0,3	Myristová (C14:0)
3	8,188	10,2	Palmitová (C16:0)
4	8,453	37,5	Palmitoolejová (C16:1)
5	8,523	0,8	Stearová (C18:0)
6	9,072	36,3	Olejová (C18:1)
7	11,043	0,2	Linolová (C18:2)
8	14,335	0,4	Arachová (C20:0)

Makadamové ořechy in-situ

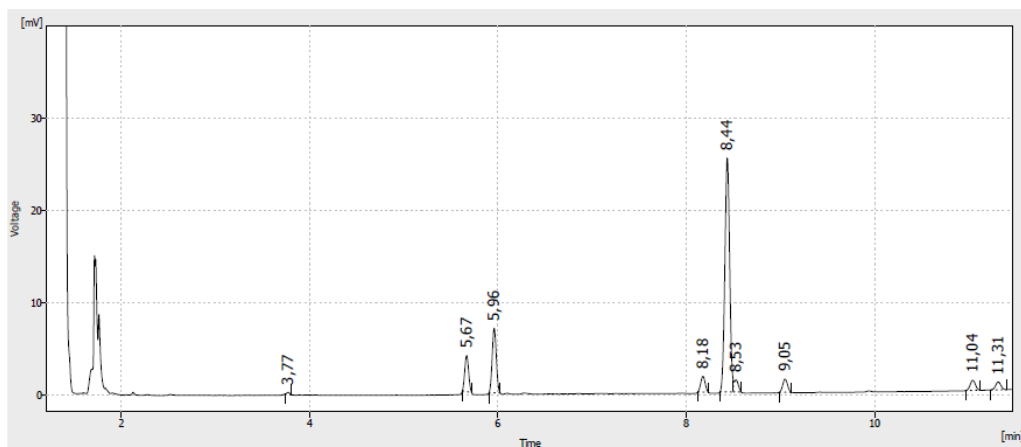


Obrázek 15: Graf chromatogramu – Makadamové ořechy in-situ

Tabulka 33: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro makadamové ořechy in-situ

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	2,337	0,2	Undecenová (C11:1)
2	3,783	0,6	Myristová (C14:0)
3	5,678	8,8	Palmitová (C16:0)
4	5,963	16,0	Palmitoolejová (C16:1)
5	6,108	0,2	Heptadekanová (C17:1)
6	8,183	3,4	Stearová (C18:0)
7	8,447	60,3	Olejová (C18:1)
8	8,537	3,6	Vakcenová/elaidová (C18:1)
9	9,058	2,1	Linolová (C18:2)
10	11,047	2,7	Arachová (C20:0)
11	11,317	2,2	Ikos-11-enová (C20:1 n-9, n-11)

Makadamový olej

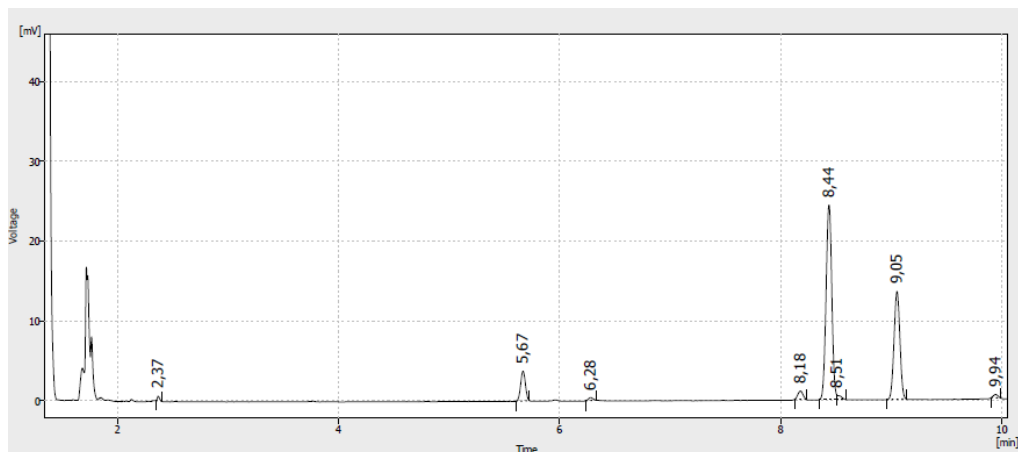


Obrázek 16: Graf chromatogramu – Makadamový olej

Tabulka 34: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro makadamový olej

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	3,772	0,3	Myristová (C14:0)
2	5,670	7,7	Palmitová (C16:0)
3	5,963	14,6	Palmitoolejová (C16:1)
4	8,177	3,9	Stearová (C18:0)
5	8,435	62,0	Olejová (C18:1)
6	8,528	3,0	Vakcenová/elaidová (C18:1)
7	9,048	3,5	Linolová (C18:2)
8	11,042	2,9	Arachová (C20:0)
9	11,312	2,3	Ikos-11-enová (C20:1 n-9, n-11)

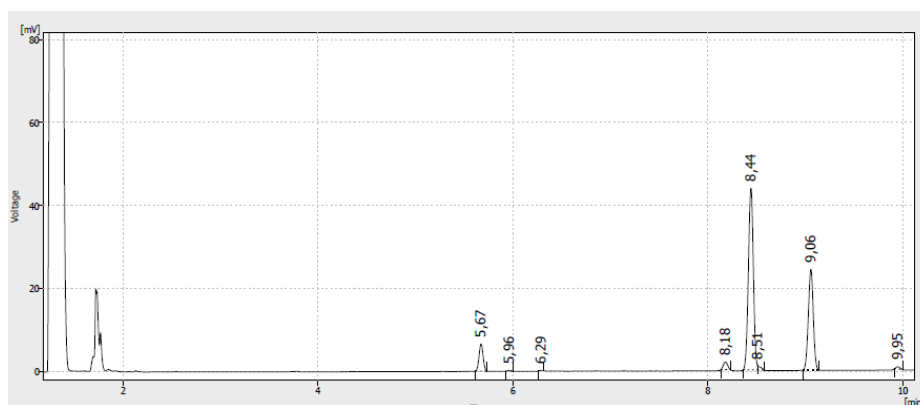
Pekanové ořechy in-situ



Obrázek 17: Graf chromatogramu – Pekanové ořechy in-situ

Tabulka 35: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro pekanové ořechy in-situ

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	2,370	0,5	Undecenová (C11:1)
2	5,670	7,1	Palmitová (C16:0)
3	5,963	0,7	Palmitoolejová (C16:1)
4	8,178	2,1	Stearová (C18:0)
5	8,438	56,2	Olejová (C18:1)
6	8,510	0,9	Vakcenová/elaidová (C18:1)
7	9,052	31,8	Linolová (C18:2)
8	9,943	0,7	alfa-Linolenová (C18:3 n-3)

Pekanový olej

Obrázek 18: Graf chromatogramu – Pekanový olej

Tabulka 36: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro pekanový olej

Číslo	Retenční čas [min]	Plocha píku [%]	Název mastné kyseliny
1	5,670	7,0	Palmitová (C16:0)
2	5,963	0,2	Palmitoolejová (C16:1)
3	6,920	0,1	Heptadekanová (C17:1)
4	8,180	2,1	Stearová (C18:0)
5	8,442	57,5	Olejová (C18:1)
6	8,510	0,9	Vakcenová/elaidová (C18:1)
7	9,057	31,0	Linolová (C18:2)
8	9,947	0,7	alfa-Linolenová (C18:3 n-3)

12.3 Vyhodnocení

U 4 vybraných druhů ořechů (mandle, para ořechy, makadamové a pekanové ořechy) jsem za pomoci plynové chromatografie stanovovala zastoupení jednotlivých mastných kyselin (Tabulka 37) a posoudila oxidační stabilitu.

Mandlový olej

U mandlového oleje je nejvíce zastoupena kyselina olejová (MUFA), druhý největší podíl má kyselina linolová (PUFA) a minoritní zastoupení mají nasycené mastné kyseliny (palmitová a stearová). Zastoupení kyseliny olejové vyšlo 72,2 % v oleji a v mandlovém ořechu 71,2 %. Odborná literatura uvádí, že obsah této kyseliny může být ještě vyšší a dosahovat až 81 %. Linolová kyselina je v mandlovém oleji zastoupena z 20,1 % a v ořechu z 21,1 %. Zatímco při mém měření jsem nezaznamenala obsah kyseliny linolenové, tak jiné studie uvádí, že tato nenasyčená mastná kyselina může být ve vzorku zastoupena až z 11 %. [63] Zajímavostí je, že v mandlovém oleji při plynové chromatografii na obou přístrojích, byla detekována stopová množství erukové kyseliny (0,7 %), zatímco v ořechu tato kyselina zcela chybí. Závěrem lze říci, že složení mastných kyselin v mandlovém oleji a ořechu je velmi podobné, z toho plyne, že proces extrakce nemá výrazný vliv na složení mastných kyselin.

Makadamový olej

U makadamového oleje je hojně zastoupena kyselina olejová (64,9 % v oleji a 60,3 % v ořechu) a kyselina palmitoolejová (v oleji 14,6 % a v ořechu 16 %). Co se obsahu polynenasycených mastných kyselin týče, tak je zde velmi nízký podíl kyseliny linolové. Množství této kyseliny je desetkrát menší, než jsem naměřila u pekanového oleje. Z nasycených mastných kyselin jsou zde nejvíce zastoupeny kyselina palmitová (u ořechu až 8,8 %) a kyselina stearová (3,4–3,9 %). Studie „*Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand*“ uvádí, že hlavními mastnými kyselinami jsou olejová, palmitoolejová a palmitová kyselina. Mohu konstatovat, že při měření na plynovém chromatografu jsem došla ke stejnému závěru. Tato studie dále uvádí, že kyselina olejová tvořila 40,6–59 % celkových mastných kyselin. [66] Při mém měření vyšel obsah kyseliny olejové o něco vyšší, než uvádí výše zmíněná studie, obsah této MK se v průměru pohyboval kolem 62,6 %.

Pekanový olej

V pekanovém oleji opět nejvíce dominuje kyselina olejová (57,5 %), kterou řadíme mezi mononenasycené mastné kyseliny. Dále jsou zde zastoupeny polynenasycené mastné kyseliny (linolová) nebo nasycené mastné kyseliny (palmitová a stearová). Zajímavostí je, že v oleji je kyselina linolová zastoupena z 31 %, zatímco v ořechu je její obsah mnohonásobně nižší a pohybuje se kolem 2,1 %. Naopak kyselina palmitoolejová je ve větším množství zastoupena v ořechu (15,9 %) a v oleji tvoří jen nepatrnou část (0,2 %). Co se týče zastoupení MK v pekanovém oleji viz Tabulka 37, výsledky jsou podobné odborným studiím, jako je například „*Oxidative Stability and Sensory Properties of Pecan Nuts*“, i když se někdy uvádí, že obsah kyseliny olejové je nižší (40–50 %), než vyšel při měření mé diplomové práce. [69]

Olej z para ořechů

U para ořechů a oleje z nich extrahovaných bylo naměřeno nejmenší množství olejové kyseliny (36,3–38,3 %) při srovnání s výše uvedenými druhy ořechů, kde tato mastná kyselina vždy dominovala. Para ořechy jsou známé svým vysokým zastoupením PUFA (kyselina linolová a linolenová), což se potvrdilo i při mém měření, kdy jsem u ořechu naměřila 36,2 % kyseliny linolové. Ze zástupců nasycených MK se zde opět setkáváme s kyselinou stearovou a palmitovou (10–14,6 %). U stearové kyseliny se setkáváme s významným rozdílem u ořechu (9,9 %) a oleje (0,8 %). Kyselina myristová je u oleje zastoupena z 14,7 % zatímco u ořechu bylo naměřeno pouhých 7,0 % (plynová chromatografie na přístroji Shimadzu GC-14A). Rozdíly v zastoupení mastných kyselin u oleje a ořechu můžeme přičíst extrakčním procesům. Pokud bych měla srovnat mé naměřené výsledky s odbornou literaturou, pak mohu potvrdit, že jsem došla ke stejným či velmi podobným výsledkům. [63]

Posouzení oxidační stability

Vyšší obsah polynenasycených mastných kyselin přímo souvisí s náchylností k oxidaci. Naopak oleje s vyšším obsahem mononenasycených mastných kyselin mají vyšší oxidační stabilitu a nasycené MK jsou nejméně náchylné k oxidaci. Makadamový olej má vysoký podíl MUFA a nízký podíl PUFA, což z něj dělá olej s nejvyšší oxidační stabilitou z výše uvedených olejů. Olej z para ořechů má nejvyšší zastoupení PUFA z testovaných olejů, a to z něj činí nejméně stabilní olej. Mandlový a pekanový olej se pak nachází někde mezi makadamovým olejem a olejem z para ořechů. Viz Tabulka 38

Tabulka 37: Poměry zastoupených mastných kyselin ve vzorcích, podle plynové chromatografie Shimadzu GC-2010 Pro

Název mastné kyseliny	Mandle		Para ořech		Pekanový ořech		Makadamový ořech	
	Ořech	Olej	Ořech	Olej	Ořech	Olej	Ořech	Olej
	[%] Plocha píku							
Undecenová	-	-	-	-	0,2	-	0,2	-
Laurová	-	-	-	14,3	-	-	-	-
Myristová	-	-	-	0,3	0,6	-	0,6	0,3
Palmitová	6,4	5,6	14,6	10,2	8,8	7,0	8,8	0,3
Palmitolejová	0,1	0,3	0,3	37,5	15,9	0,2	16,0	14,6
Heptadekanová	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-
Stearová	1,1	1,2	9,9	0,8	3,4	2,1	3,4	3,9
Olejová	71,2	72,2	38,3	36,3	60,2	57,5	60,3	64,9
Vakcenová/elaidová	-	-	0,7	-	3,6	0,9	3,6	
Linolová	21,2	20,1	36,2	0,2	2,1	31,0	2,1	3,5
? *	-	-	-	-	0,2	-	-	-
alfa-Linolenová	-	-	-	-	-	0,7	-	-
Arachová	-	-	-	0,4	2,9	-	2,7	-
Eruková	-	0,7	-	-	-	-	-	2,9
Ikos-11-enová	-	-	-	-	2,2	-	2,2	2,3

Tabulka 38: Poměry zastoupených mastných kyselin ve vzorcích

Druh ořechu	SFA [%]	MUFA [%]	PUFA [%]
Mandle	7,5	71,3	21,2
Mandlový olej	6,8	73,2	20,1
Para ořech	24,5	39,3	36,2
Olej z para ořechu	26,0	73,8	0,2
Pekanový ořech	12,8	82,1	2,1
Pekanový olej	9,1	58,6	31,7
Makadamový ořech	15,7	82,3	2,1
Makadamový olej	4,5	84,7	3,5

Kyselina undecenová není běžnou složkou pekanového ani makadamového ořechu. Přesto byla při měření zaregistrována na chromatogramu, tudíž jsem ji uvedla do tabulky. Pro upřesnění, zda to může být pravdivé by se musela provést detailnější chemická analýza.

Závěrem lze říct, že dominantní mastnou kyselinou zastoupenou v obou formách (olej i ořechy) je kyselina olejová. Některé mastné kyseliny (eruková a alfa-linolenová) byly detekovány pouze v oleji a jiné (laurová a stearová) pouze v ořechu.

13 JODOVÉ ČÍSLO

Přístroje

Aparatura na provedení titrace

Chemikálie

Chloroform, Hanušovo činidlo, 10% jodid draselný, 0,01M thiosíran sodný, 0,1M thiosíran sodný, 0,01M dichroman draselný, 100% kyselina chlorovodíková, škrobový maz

Postup

Do Erlenmayerovy baňky byly odváženy vzorky olejů, s tím, že pro každý olej se jodové číslo stanovovalo dvakrát. K navážce bylo přidáno 25 ml chloroformu a poté byl vzorek protřepáván, dokud nedošlo k rozpuštění. Následně bylo přidáno 25 ml Hanušova činidla (jodmonobromidu), obsah baňky byl promíchán a nechal se 1 hodinu stát na temném místě.

Po uplynutí 1 hodiny bylo do baňky přidáno 20 ml 10% roztoku jodidu draselného, 100 ml destilované vody a pár kapek škrobového mazu. Následovala samotná titrace 0,1M roztokem thiosíranu sodného do žlutého zbarvení a následného vyčerení.

Stanovení jodového čísla

Tabulka 39: Navážky jednotlivých olejů a spotřeba thiosíranu sodného při titraci

	Mandlový olej		Para olej		Pekanový olej		Makadamový olej	
Vzorek	1	2	1	2	1	2	1	2
Navážka Oleje [g]	0,185	0,217	0,187	0,231	0,179	0,245	0,185	0,299
Spotřeba thiosíranu sodného při titraci [ml]	7,4	6,1	8,1	6,8	3,9	3,7	8,6	4,6

Příprava a stanovení přesné koncentrace 0,01M roztoku Na₂S₂O₃**1) Příprava nasyceného roztoku KI**

Na předvážkách jsem navážila 4 g KI a přidala 5 ml destilované vody.

2) Příprava a stanovení přesné koncentrace 0,01M roztoku Na₂S₂O₃

Odpipetovala jsem 5 ml zásobního roztoku Na₂S₂O₃ do 50ml odměrné baňky a doplnila vodou po rysku. Tím jsem připravila 0,01M roztok Na₂S₂O₃. Přesnou koncentraci připraveného roztoku jsem stanovovala následujícím způsobem: do Erlenmayerovy baňky o objemu 100ml jsem odpipetovala 10 ml 0,01M K₂Cr₂O₇, přidala 2 ml HCl a 1 ml připraveného roztoku KI. Vše jsem promíchala a baňku nechala stát v temnu po dobu 5 minut. Následně jsem přidala 20 ml destilované vody, několik kapek (6–10) škrobového mazu a titrovala 0,01M roztokem thiosíranu sodného do odbarvení. Provedla jsem 3 stanovení vedle sebe.

Výpočet přesné koncentrace jsem provedla podle následujícího vzorce:

$$M = \frac{0,01 \cdot b}{a}$$

kde:

a – spotřeba 0,01M roztoku Na₂S₂O₃ [ml]

b – objem 0,01 N K₂Cr₂O₇ použitý ke stanovení [ml]

Spotřeba thiosíranu při titraci byla pro 3 stanovení následující: 11,1; 11,5 a 11,7 ml.

Z vypočtené koncentrace M jsem vytvořila průměr, který odpovídá M = 0,08751 a tuto hodnotu jsem následně použila pro výpočet jodového čísla.

Výpočet jodového čísla

$$J. \text{ č.} = \frac{(a - b) \cdot c_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot M_{I_2} \cdot 100}{2 \cdot n \cdot 1000} [\%]$$

kde:

a – spotřeba 0,1M roztoku Na₂S₂O₃ na slepý pokus [ml]

b – spotřeba 0,1M roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ při vlastním stanovení [ml]

$c_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – přesná koncentrace 0,1 M roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ [$\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$]

M_{I_2} – molární hmotnost I_2 [$M = 253,809 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$]

n – navážka vzorku [g]

Výpočet jodového čísla pro pekanový olej

1) Vzorek č. 1, kdy $m_1 = 0,1794 \text{ g}$

$$J. \text{ č.} = \frac{(23,1 - 3,9) \cdot 0,08751 \cdot 253,809 \cdot 100}{2 \cdot 0,1794 \cdot 1000}$$

$$J. \text{ č.} = 118,854 \%$$

Stejným způsobem jsem provedla výpočet pro všechny oleje extrahované z ořechů, kdy jsem do rovnice dosazovala hodnoty b a n z Tabulky 39 uvedené výše.

Hodnoty jodového čísla pro jednotlivé oleje přikládám v následující tabulce.

Tabulka 40: Výpočet jodového čísla pro jednotlivé oleje

	Mandlový olej		Para olej		Pekanový olej		Makadamový olej	
Vzorek	1	2	1	2	1	2	1	2
Jodové číslo								
[%]	94	87	89	79	119	88	87	69

13.1 Vyhodnocení

Nejvyšší jodové číslo bylo naměřeno u pekanového oleje (*vzorek 1*), kde hodnota dosahovala 119 %, naopak nejnižší jodové číslo vyšlo u makadamového oleje: 69 %.

Závěrem lze tedy říci, že pekanový olej obsahuje největší množství nenasycených mastných kyselin z vybraných druhů ořechů. Makadamový olej, u kterého bylo naopak jodové číslo nejnižší, má ve svém složení nejméně zastoupené nenasycené mastné kyseliny.

Při srovnání naměřených výsledků s dalšími odbornými studiemi mohu konstatovat, že jodové číslo vyšlo v rozmezí, které uvádí i jiné studie. Například studie „*High-pressure*

assisted extraction of bioactive compounds from industrial fermented fig by-product“ uvádí rozmezí jodového čísla pro makadamový olej 70–80 %. [75]

U mandlového oleje se jodové číslo dle studie publikované ve Food Chemistry pohybuje v rozmezí 98–102 %, zatímco mně vyšlo 87–94 %. [76]

U pekanového a para oleje se mé výsledky rozcházejí s ostatními publikovanými studiemi. Mé naměřené výsledky u pekanového oleje se pohybují v rozmezí 88–111 %, zatímco jiné studie uvádí spodní hranici vyšší (90 %) a horní hranici nižší (110 %). [77]

U para oleje jsou naopak mé naměřené výsledky mnohem nižší (79–89 %), než uvádí ostatní zdroje. Například studie *„Comparative analysis of eight esterification methods in the quantitative determination of vegetable oil fatty acid methyl esters“* uvádí jodové číslo pro para olej v rozmezí 95–115 %. [78]

14 PEROXIDOVÉ ČÍSLO

Přístroje

Aparatura na provedení titrace

Chemikálie

Chloroform, jodid draselný, thiosíran sodný, kyselina octová, škrobový maz

Postup

Do Erlenmayerovy baňky jsem odvážíla 1 g oleje a rozpustila ve 25 ml směsi chloroform:kyselina octová. K roztoku jsem přidala 1 ml připraveného roztoku KI, promíchala a nechala stát ve tmě po dobu 5 minut. Poté jsem přidala 75 ml destilované vody, 2 ml škrobového mazu a titrovala za intenzivního protřepávání 0,01M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ do odbarvení. Stejným způsobem jsem provedla i stanovení pro slepý pokus.

U pekanového a makadamového oleje jsem pro *vzorek 1* použila olej získaný Soxhletovou extrakcí a pro *vzorek 2* olej získaný extrakcí rozpouštědlem na míchadle.

U mandlového a para oleje byl pro oba vzorky použit olej získaný Soxhletovou extrakcí.

Stanovení peroxidového čísla

Tabulka 41: Navážka oleje a spotřeba thiosíranu sodného při titraci [ml]

	Mandlový olej		Para olej		Pekanový olej		Makadamový olej	
Vzorek	1	2	1	2	1	2	1	2
Navážka Oleje [g]	1,0578	1,046	1,049	1,034	1,002	1,001	1,018	1,002
Spotřeba thiosíranu sodného při titraci [ml]	6,8	6,7	5,5	5,1	10,8	8,9	10,2	8,9

1) Stanovení přesné koncentrace 0,01 M roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Vzorec pro výpočet koncentrace roztoku:

$$M = \frac{0,01 \cdot b}{a}$$

kde:

a – spotřeba 0,01M roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ [ml]

b – objem 0,01 N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ použitý ke stanovení [ml]

Stanovení 3× vedle sebe

$$b = 10 \text{ ml}$$

$$a_1 = 11,9 \text{ ml} \rightarrow M_1 = 0,0084$$

$$a_2 = 11,8 \text{ ml} \rightarrow M_2 = 0,0085 \quad \rightarrow M = 0,0084$$

$$a_3 = 12,0 \text{ ml} \rightarrow M_3 = 0,0083$$

2) Výpočet peroxidového čísla

Výpočet peroxidového čísla dle vzorce:

$$P. \text{č.} = \frac{1000 \cdot M \cdot (a - b)}{n} [\mu\text{val} \cdot \text{g} - 1 \text{ tuku}]$$

kde:

M – přesná koncentrace roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

a – spotřeba 0,01M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ při vlastním stanovení [ml]

b – spotřeba 0,01M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ při slepém pokusu [ml]

n – navážka tuku [g]

3) Výpočet peroxidového čísla pro mandlový olej

$$P.č. = \frac{1000 \cdot M \cdot (a - b)}{n} [\mu\text{val} \cdot g^{-1} \text{tuku}]$$

$$P.č. = \frac{1000 \cdot 0,0084 \cdot (6,8 - 0,513)}{1,0577} [\mu\text{val} \cdot g^{-1} \text{tuku}]$$

$$P.č. = \mathbf{49,930} [\mu\text{val} \cdot g^{-1} \text{tuku}]$$

Stejným způsobem jsem provedla výpočet pro všechny druhy olejů. Výsledky uvádím níže v Tabulce 42.

Tabulka 42: Výpočet peroxidového čísla pro jednotlivé oleje

Olej	Mandlový		Para		Pekanový		Makadamový	
Vzorek	1	2	1	2	1	2	1	2
Peroxidové číslo [$\mu\text{val} \cdot g^{-1} \text{tuku}$]	50	50	40	37	86	64	80	70

14.1 Vyhodnocení

Nejvyšší peroxidové číslo bylo naměřeno u pekanového oleje (*vzorek 1*), kde hodnota dosahovala 86,273 [$\mu\text{val} \cdot g^{-1} \text{tuku}$], což souvisí s nejvyšší spotřebou thiosíranu sodného při titraci (10,8 ml). Naopak nejnižší peroxidové číslo vyšlo u oleje z para ořechů: 37,282 [$\mu\text{val} \cdot g^{-1} \text{tuku}$], kde byla naopak nejnižší spotřeba thiosíranu sodného při titraci (5,1 ml). Závěrem lze tedy říci, že pekanový olej prošel pokročilou oxidací, což souvisí s vysokým obsahem nenasycených mastných kyselin, které na rozdíl od nasycených mastných kyselin nejsou vůči oxidaci stabilní. Pekanový olej má vyšší obsah polynenasycených mastných kyselin, což významně ovlivňuje jeho stabilitu. Nejnižší peroxidové číslo vyšlo u oleje z para ořechů, což naopak značí, že mastné kyseliny si zachovaly svou původní strukturu

a nepodlehly oxidaci. Když srovnám mé naměřené hodnoty s odbornou literaturou, tak mohu obecně říci, že mé naměřené hodnoty jsou o dost vyšší než běžná peroxidová čísla ořechů. Hodnoty peroxidového čísla se obecně pohybují na nižších hodnotách:

- mandlový olej = $1\text{--}10 \mu\text{val} \cdot g^{-1}$ tuku;
- makadamový olej = $1\text{--}12 \mu\text{val} \cdot g^{-1}$ tuku;
- pekanový olej = $2\text{--}14 \mu\text{val} \cdot g^{-1}$ tuku
- para olej = $4\text{--}16 \mu\text{val} \cdot g^{-1}$ tuku. [79]

Skutečnost, že se mé naměřené hodnoty peroxidového čísla liší od ostatních studií a odborné literatury může být způsobeno hned několika faktory. Během skladování olejů mohlo dojít k oxidačním procesům vlivem přítomnosti kyslíku, vyšších teplot nebo působením světla. Výsledky mohly být také ovlivněny kvalitou surovin nebo zpracováním oleje. Například při nedostatečné filtraci oleje mohou v oleji zůstat části ořechů, které snadno podléhají oxidaci.

15 OXIDAČNÍ STABILITA

Přístroje

Rancimat – 892 Professional Rancimat; Metrohm



Obrázek 19: Rancimat – 892 Professional Rancimat; Metrohm

Postup

Měření oxidační stability u vybraných druhů ořechů a olejů z nich extrahovaných. Vybrané druhy ořechů: mandle, para, pekanové a makadamové ořechy.

1. Měření oxidační stability – mandle a para ořechy

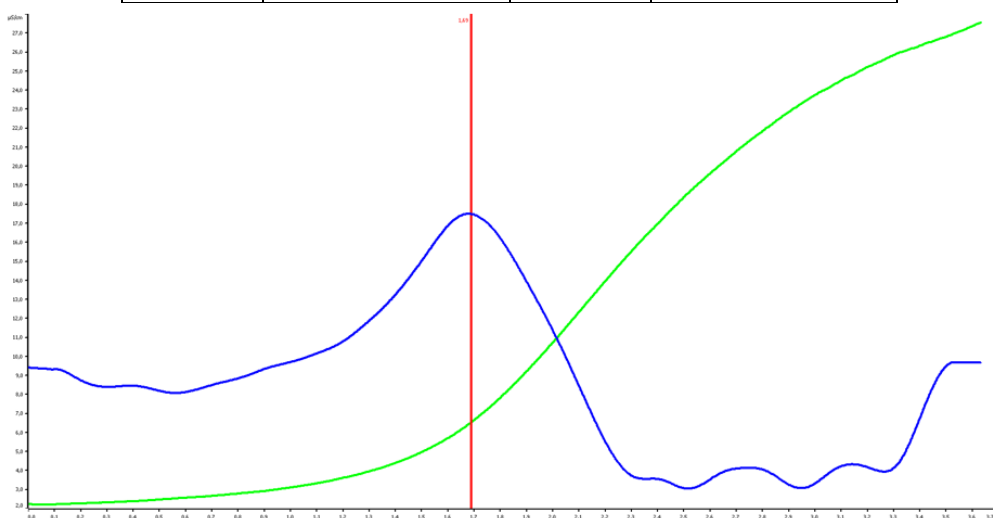
Nastavení přístroje

Teplota 110 °C, průtok vzduchu 20 l/h, navážka 3,0000 g $\pm$ 0,2 g, objem destilované vody 50–60 ml.

- Použití nahrubo rozmělněných ořechů, navážka ořechů viz Tabulka 143.

Tabulka 43: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110 °C

Mandle		Para ořechy	
Navážka [g]	Indukční perioda [h]	Navážka [g]	Indukční perioda [h]
3,0054	18,93	3,1259	9,67
3,0323	16,47	3,1231	8,82
3,0676	20,04	3,1352	11,68
3,0103	19,47	3,1408	8,91



Obrázek 20: Průběh oxidace oleje z para ořechů při 110 °C

2. Měření oxidační stability – mandle a para ořechy

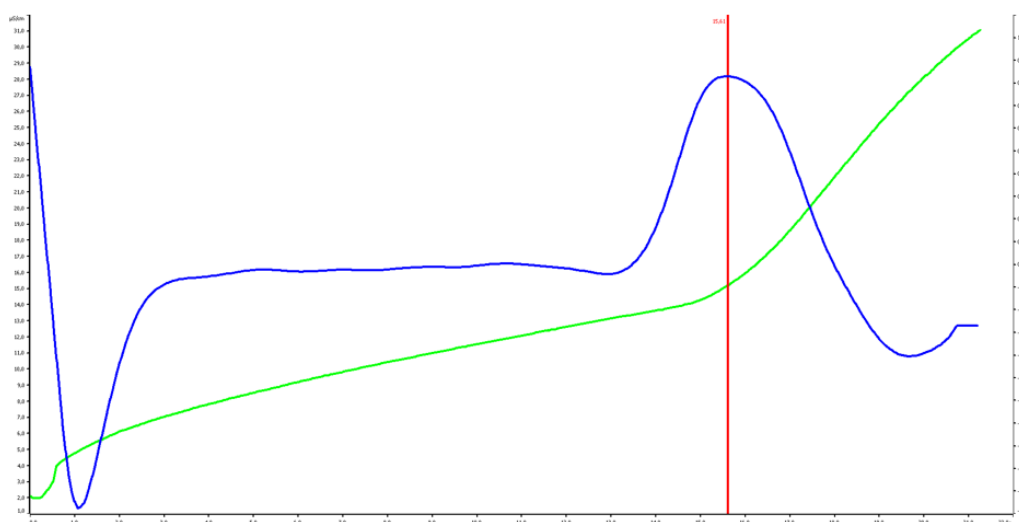
Nastavení přístroje

Teplota 120 °C, průtok vzduchu 20 l/h, navážka 3,0000 g $\pm$ 0,2 g, objem destilované vody 50–60 ml.

- Použití najemno rozmělněných ořechů, navážka ořechů viz Tabulka 44.

Tabulka 44: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=120 °C

Mandle		Para ořechy	
Navážka [g]	Indukční perioda [h]	Navážka [g]	Indukční perioda [h]
3,0226	14,67	3,0574	6,30
3,0159	14,49	3,0742	6,43
3,0460	15,78	3,0825	6,78
3,0258	16,60	3,0305	6,82



Obrázek 21: Průběh oxidace mandlového oleje při 120 °C

3. Měření oxidační stability – mandle a para ořechy

Nastavení přístroje

Teplota 120 °C – mandle, 110 °C – para ořechy, průtok vzduchu 20 l/h, navážka 3,0000 g $\pm$ 0,2 g, objem destilované vody 50–60 ml.

- Použití nejmenno rozmělněných ořechů, navážka ořechů viz Tabulka 45.

Tabulka 45: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110–120 °C

Mandle		Para ořechy	
Navážka [g]	Indukční perioda [h]	Navážka [g]	Indukční perioda [h]
3,0879	16,20	3,2000	27,96
3,0315	15,61	3,1263	24,07
3,0799	15,57	3,1203	25,18
3,1741	17,63	3,2504	26,03

4. Měření oxidační stability – olej z mandlí a para ořechů

Nastavení přístroje

Teplota 110 °C, průtok vzduchu 20 l/h, navážka 3,0000 g $\pm$ 0,2 g, objem destilované vody 50–60 ml.

- Použití vyextrahovaného oleje – mandlový olej a olej z para ořechů, navážka oleje viz Tabulka 46.

Tabulka 46: Navážka oleje z ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110 °C

Mandlový olej		Olej z para ořechů	
Navážka [g]	Indukční perioda [h]	Navážka [g]	Indukční perioda [h]
3,0369	–	3,2012	1,69
3,0281	–	3,1679	1,64
3,0319	–	3,1715	1,76
3,0192	–	3,1965	1,80

*u mandlového oleje nebyla z technických důvodů stanovena indukční perioda

5. Měření oxidační stability – pekanový a makadamový olej

Nastavení přístroje

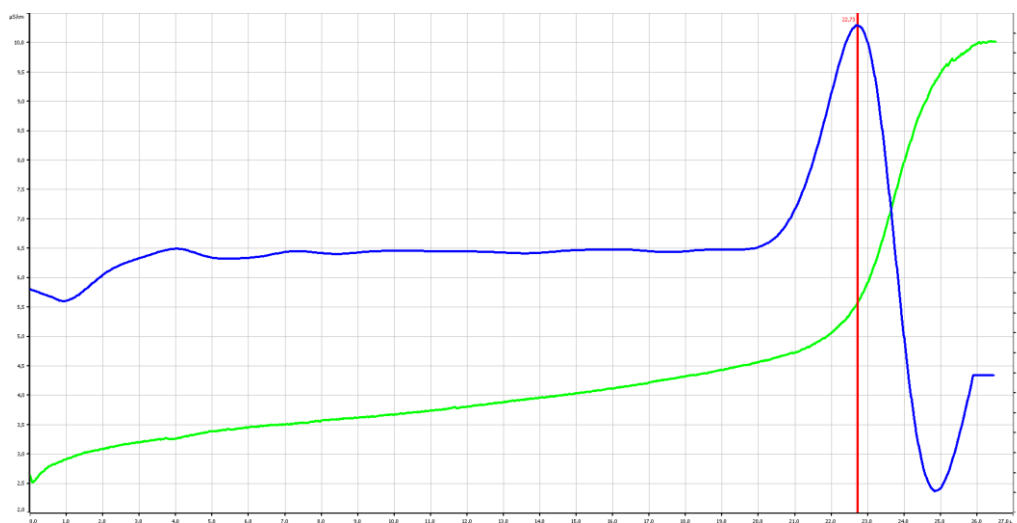
Teplota 100/110 °C, průtok vzduchu 20 l/h, navážka 3,0000 g ± 0,2 g, objem destilované vody 50–60 ml.

- Použití vyextrahovaného oleje, navážka olejů a indukční perioda viz Tabulka 47 a 48.

Tabulka 47: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=100 °C

Makadamový olej		Pekanový olej	
Navážka [g]	Indukční perioda [h]	Navážka [g]	Indukční perioda [h]
3,0527	-	3,0302	22,73
3,0765	-	3,0274	22,92

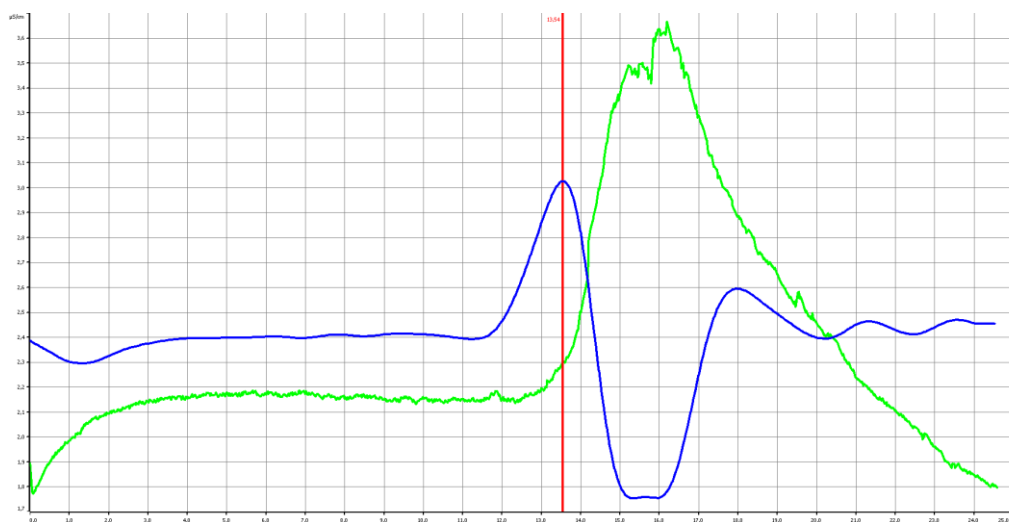
*Indukční perioda u makadamového oleje z technických důvodů nezměřena



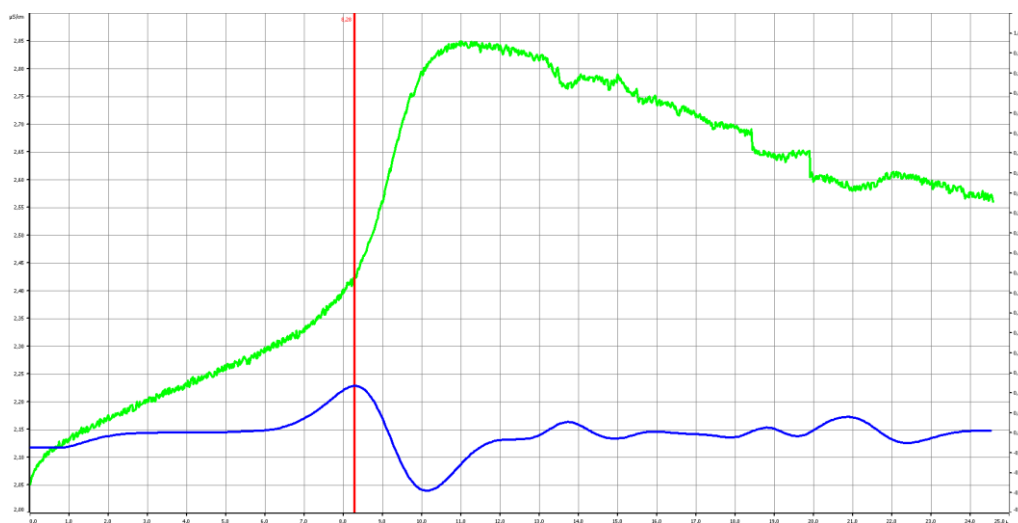
Obrázek 22: Průběh oxidace pekanového oleje při 100 °C

Tabulka 48: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110 °C

Makadamový olej		Pekanový olej	
Navážka [g]	Indukční perioda [h]	Navážka [g]	Indukční perioda [h]
3,1126	13,54	3,0697	8,28
3,0468	9,07	3,1343	9,96



Obrázek 23: Průběh oxidace makadamového oleje při 110 °C



Obrázek 24: Průběh oxidace pekanového oleje při 110 °C

15.1 Vyhodnocení

Závěrem porovnávám oxidační stabilitu a indukční periodu jednotlivých druhů ořechů a olejů z nich extrahovaných.

Obecně lze říci, že při nižší teplotě (110 °C) vycházela indukční perioda vyšší, než při nastavení na teploty na 120 °C. Z toho plyne, že se zvýšením teploty dochází k rychlejšímu procesu oxidace. Indukční perioda se liší i v rámci jednoho druhu ořechu podle jeho formy (rozdrcený ořech, tekutý olej). Rozdrcené a rozemleté ořechy mají obecně nižší indukční periodu, jsou tedy náchylnější k oxidaci oproti olejům. To je dáno hned několika faktory:

- při rozemletí ořechů dochází k vystavení tuku kyslíku, což urychluje oxidaci;
- ořechy obsahují vodu a enzymy, které mohou vyvolat hydrolytické procesy a urychlit tak degradaci tuků;
- oproti tomu oleje mají velmi nízký obsah vody, tudíž dochází k oxidaci pomaleji.

Tabulka 49: Srovnání indukční periody u jednotlivých druhů ořechů a olejů z nich
extrahovaných; T = 110 °C

Druh ořechu	Mandle	Para ořech	Olej z para ořechu	Pekanový olej	Makadamový olej
Indukční perioda [h]	18,73	9,77	1,72	9,12	11,3

Podle studií prováděných na makadamovém oleji byla oxidační stabilita měřená na přístroji Rancimat v rozmezí 3,6–19,8 hodin. Při mém měření na stejném přístroji vyšlo rozmezí oxidační stability 9,07–13,54 hodin. [66]

Studie provedená na para ořeších „*Yield, nutritional quality, and thermal-oxidative stability of Brazil nut oil (Bertolletia excelsa H.B.K.) obtained by supercritical extraction*“ [70] uvádí průměrnou oxidační stabilitu 14,85 hodin. Mně při nastavení přístroje na teplotu 110 °C vyšla indukční perioda u oleje 1,72 h, avšak u para ořechu bylo číslo mnohem vyšší, a to 9,77 h.

Studie zabývající se oxidační stabilitou mandlového oleje uvádí indukční periodu při teplotě 110–120 °C 4–10 hodin v závislosti na kvalitě oleje a obsahu antioxidantů. Studie také zkoumala rozdíl mezi rafinovaným a nerafinovaným mandlovým olejem, kdy u nerafinovaného oleje vychází indukční perioda vyšší díky přítomnosti vitamínu E. [80] Jiná studie, která měřila oxidační stabilitu pomocí přístroje Rancimat na tzv. mandlové pastě (nejemno rozemleté mandle) uvádí indukční periodu v rozmezí 4–8 hodin, zatímco při mém laboratorním měření vyšla indukční perioda 18,73 hodin. [81]

Studie „*Effect of natural polyphenol on the oxidative stability of pecan oil*“ se zabývala vlivem přírodních polyfenolů na oxidační stabilitu pekanového oleje. Jedním ze zajímavých poznatků je, že kyselina kávová výrazně zlepšuje oxidační stabilitu a poukazuje na to, že přírodní polyfenoly hrají významnou roli v prodloužení trvanlivosti pekanového oleje. [82] Na přístroji Rancimat jsem naměřila u pekanového oleje indukční periodu 9,12 hodin, u para ořechu nebylo možné z technických důvodů indukční periodu změřit.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo izolovat olej obsažený ve vybraných druzích ořechů a ten následně charakterizovat dostupnými analytickými metodami.

Při porovnání množství oleje získaného klasickou a Soxhletovou extrakcí lze říci, že ořechy (s výjimkou pekanového ořechu) podrobené Soxhletově extrakci dosahovaly vyšších výtěžků oleje. Co se výtěžku oleje týče, je Soxhletova extrakce obecně považována za účinnější. Dokazují to mnohé studie prováděné na rostlinách. [68] U Soxhletovy extrakce byl zaznamenán nejvyšší a současně nejnižší výtěžek oleje. U najemno rozdrcených para ořechů dosahoval výtěžek oleje 41,9 % a u pekanových ořechů pouhých 12,9 %.

Provedením plynové chromatografie se mi podařilo zjistit přesné zastoupení jednotlivých mastných kyselin v ořeších a olejích z nich extrahovaných. Dominantní zastoupení ve všech vzorcích měla kyselina olejová, která patří mezi mononenasycené mastné kyseliny, obsahuje jednu dvojnou vazbu mezi 9. a 10. atomem uhlíku. Pokud bych měla porovnat naměřené výsledky, tedy zastoupení MK ve vzorcích, s ostatními studiemi na toto téma, mohu potvrdit, že jsem se dobrala k velmi podobným výsledkům. Drobné odchylky v zastoupení MK ve vzorcích mohou být dány mnoha faktory, jako je například odrůda, způsob pěstování, způsob zpracování, skladování a jiné. [67]

V další části diplomové práce jsem se zaměřila na měření jodového a peroxidového čísla. Nejvyšší jodové číslo bylo naměřeno u pekanového oleje, kde hodnota dosahovala 119, naopak nejnižší jodové číslo vyšlo u makadamového oleje: 69. Lze tedy říci, že pekanový olej obsahuje největší množství nenasycených mastných kyselin z vybraných druhů ořechů. Makadamový olej, u kterého bylo naopak jodové číslo nejnižší, má ve svém složení nejméně zastoupené nenasycené mastné kyseliny. Pomocí jodového čísla mohu potvrdit, že výsledky, které mi vyšly na plynové chromatografii jsou odpovídající. Při srovnání mých naměřených výsledků s ostatními publikovanými studiemi na toto téma, mohu konstatovat, že naměřené hodnoty jodových čísel se příliš neliší. [67, 68, 69]

Nejvyšší peroxidové číslo bylo naměřeno u pekanového oleje (vzorek 1), kde hodnota dosahovala 86,273 [$\mu\text{val} \cdot \text{g}^{-1}$ tuku]. Naopak nejnižší peroxidové číslo vyšlo u oleje z para ořechů: 37,282 [$\mu\text{val} \cdot \text{g}^{-1}$ tuku]. Závěrem lze tedy říci, že pekanový olej prošel pokročilou oxidací, což souvisí s vysokým obsahem nenasycených mastných kyselin, které na rozdíl od nasycených mastných kyselin nejsou vůči oxidaci stabilní. Pekanový olej má vyšší obsah

polynenasycených mastných kyselin, což významně ovlivňuje jeho stabilitu. Nejnižší peroxidové číslo vyšlo u oleje z para ořechů, což naopak značí, že mastné kyseliny si zachovaly svou původní strukturu a nepodlehly oxidaci.

V závěru diplomové práce jsem se zabývala stanovením oxidační stability u jednotlivých druhů ořechů a olejů z nich extrahovaných. Teorie říká, že existuje velká souvislost mezi zastoupením mastných kyselin ve vzorku a oxidační stabilitou. [66] Vyšší obsah polynenasycených mastných kyselin přímo souvisí s náchylností k oxidaci. Naopak oleje s vyšším obsahem mononenasycených mastných kyselin mají vyšší oxidační stabilitu a nasycené MK jsou nejméně náchylné k oxidaci. Makadamový olej má vysoký podíl MUFA a nízký podíl PUFA, což z něj dělá olej s nejvyšší oxidační stabilitou z testovaných vzorků. Olej z para ořechů má nejvyšší zastoupení PUFA, a to z něj naopak činí nejméně stabilní olej. Mandlový a pekanový olej se pak nachází někde mezi makadamovým olejem a olejem z para ořechů.

Výsledky diplomové práce jsou v souladu s dostupnými studiemi a odbornou literaturou. Naměřené výsledky potvrzují, že zastoupení mastných kyselin v jednotlivých vzorcích má významný vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti a oxidační stabilitu ořechových olejů. Analytické metody, které jsem provedla v rámci diplomové práce (plynová chromatografie, stanovení jodového a peroxidového čísla, měření oxidační stability pomocí přístroje Rancimat) dokazují, že obsah a typ mastných kyselin (nasycené, mononenasycené a polynenasycené) zásadně ovlivňují chování olejů. Jak uvádím výše, vysoké zastoupení mononenasycených mastných kyselin, především kyseliny olejové, v makadamovém oleji přispívá k jeho vyšší oxidační stabilitě. To současně potvrzují studie a dostupná literatura. [66, 67]. Oleje s vyšším podílem polynenasycených mastných kyselin (olej z para ořechů a pekanový olej) mají vyšší náchylnost k oxidaci, což se projevilo vyššími hodnotami peroxidového čísla a nižší oxidační stabilitou, což opět potvrzují dostupné studie [68, 69]. Drobné odchylky v měření lze přičíst faktorům, jako jsou rozdíly v odrůdách, podmínkách pěstování, zpracování či skladování.

Tato diplomová práce jednak potvrzuje známé teoretické principy, ale také přináší nové poznatky týkající se vztahu mezi složením mastných kyselin a praktickými vlastnostmi olejů vyextrahovaných z ořechů, což může mít teoreticky význam pro využití v dalších oborech jako je v potravinářství, kosmetika či farmacie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MOHAMMED, Sawsan G a QORONFLEH, M Walid. Nuts. *Advances in Neurobiology*. 2019, č. 24, s. 395–419.
- [2] Oxidative Stability of Tree Nut Oils. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008, roč. 12, č. 56, s. 4751–4759. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf8000982#>. [cit. 2024-09-15].
- [3] ALVAREZ-ORT, M. et al. *Effects of a pressure extraction systém on quality the parameters of different virgin pistachio (Pistacia vera L. var. Larnaka) oils*. Online. 63. 260–266: *Grasas Y Aceites*, 2012. [cit. 2025-02-13].
- [4] BALTAZAR, P.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, N.; DIEZMA, B. a LLÉO, L. Development of rapid extra virgin olive oil quality assessment procedures based on spectroscopic techniques. Online. *Agronomy*. 2020, č. 10, s. 41. [cit. 2025-02-13].
- [5] WILKINSON, K. L.; WIRTHENSOHN, M. a ZHU, Y. Changes in fatty acid and tocopherol content during almond (*Prunus dulcis*, cv. Nonpareil) kernel development. Online. *Scientia Horticulturae*. 2017, č. 225, s. 150–155. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.008>. [cit. 2024-09-16].
- [6] LAPSLEY, K.; ELLIS, P. R. a GRUNDY, M. M. L. A review of the impact of processing on nutrient bioaccessibility and digestion of almonds. Online. *International Journal of Food Science & Technology*. 2016, roč. 9, č. 51, s. 1937–1946. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13192>. [cit. 2024-09-16].
- [7] BELKACEMI, K.; ARUL, J.; CHERIF, A.; SEBEI, K.; BOUKHCHINA, S. et al. Kernel fatty acid and triacylglycerol composition for three almond cultivars during maturation. Online. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2004, roč. 10, č. 81, s. 901–905. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11746-004-0999-z>. [cit. 2024-09-16].
- [8] EMKEN, E. Human studies using isotope labeled fatty acids: answered and unanswered questions. Online. *Journal of Oleo Science*. 2013, č. 62, s. 4245–255. [cit. 2025-02-18].
- [9] BENMOUMEN, A. B.; SINDIC, M.; FAUCONNIER, M.-L.; ABID, M.; MANSOURI, F. et al. Biochemical characterisation of the seed oils of four safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties grown in north-eastern of Morocco. Online. *International Journal of Food Science and Technology*. 2015, article 50, s. 804–810. [cit. 2025-02-18].
- [10] KORNSTEINER, M.; ELMADFA, I. a WAGNER, K.-H. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types,. Online. *Food Chemistry*. 2006, č. 98, s. 381–387. [cit. 2025-02-18].
- [11] MAGALHÃES, M. L.; FARIA, P. B.; NUNES, E. E. C.; CAMPIDELLI, M. L. L.; SOUZA, E. C. et al. Effects of the drying process on the fatty acid content, phenolic profile, tocopherols and antioxidant activity of baru almonds (*Dipteryx alata* Vog.). Online. *Grasas Y Aceites*. 2020, č. 71, s. 343. [cit. 2025-02-13].
- [12] TAMOGAMI, S.; LIU, X.; WANG, S.; MASUI, E. a CHEN, J. Decomposition of tocopherol homologs and their effects on the decomposition of unsaturated fatty acids in 10 commercial oils during deep frying. Online. *Analytical Letters*. 2020, roč. 53, č. 12, s. 1–10. [cit. 2025-02-13].
- [13] SEN, C. K.; ROY, S. a KHANNA, S. Tocotrienols in health and disease: the other half of the natural vitamin E family. Online. *Molecular Aspects of Medicine*,. 2007, č. 28, s. 692–728. [cit. 2025-02-13].

- [14] ESTEKL, M.; SIMAL-GANDARA, J. a SHAHSAVARI, Z. Gas chromatographic fingerprinting coupled to chemometrics for food authentication. Online. *Food Reviews International*. 2020, č. 36, s. 384–427. [cit. 2025-02-13].
- [15] ČOLIČ, S.; FOTIRIČ-AKŠIČ, M.; NATIČ, M. a ZEC, G. Almond (*Prunus Dulcis*) Oil. Fruit Oils: Chemistry and Functionality. Online. *Springer*. 2019. [cit. 2025-02-13].
- [16] ARANCETA, J. a PÉREZ-RODRIGO, C. Recommended dietary reference intakes, nutritional goals and dietary guidelines for fat and fatty acids: a systematic review. Online. *British Journal of Nutrition*. 2012, č. 107, s. 8–22. [cit. 2025-02-13].
- [17] RABADÁN, A.; PARDO, J. E.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; GÓMEZ, R. a ÁLVAREZ-ORTÍ, M. Suitability of Spanish almond cultivars for the industrial production of almond oil and defatted flour,. Online. *Scientia Horticulturae*. 2017, č. 225, s. 539–546. [cit. 2025-02-13].
- [18] RABADÁN, A.; PARDO, J. E.; MIGUEL, C. d.; GÓMEZ, R. a ÁLVAREZ-ORTÍ, M. Influence of genotype and crop year in the chemometrics of almond and pistachio oils. Online. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018, č. 98, s. 2402–2410. [cit. 2025-02-13].
- [19] Almond oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction methods, preservation conditions, potential health benefits, and safety. Online. In: *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY*. 2021. Wileyonlinelibrary, 2021, s. 3344-3375. Dostupné z: wileyonlinelibrary.com/journal/crf3.
- [20] LADIZINSKY, G. On the origin of almond: Genetic Resources and Crop Evolution. Online. In: 1999, s. 143-147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/A:1008690409554>.
- [21] JANICK, J. a MOORE, J. N. Almonds. In Fruit breeding, nuts. *John Wiley & Sons*. 1996, roč. 1996, č. 3.
- [22] BORRAS, E., AMIGO, J. M., VAN DEN BERG, F., BOQUE, R., & BUSTO, O. Fast and robust discrimination of almonds (*Prunus amygdalus*) with respect to their bitterness by using near infrared and partial least squares-discriminant analysis. *Food chemistry*. 2014, roč. 2014, č. 153, s. 15-19.
- [23] AGUNBIADE, S.O. a OLANLOKUN, J.O. Evaluation of some nutritional characteristics of Indian almond (*Prunus amygdalus*) nut. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2006, roč. 5, č. 4, s. 316–318.
- [24] BAI, S. H., BROOKS, P., GAMA, R., NEVENIMO, T., HANNET, G., HANNET, D., RANDALL, B., WALTON, D., GRANT, E., & WALLACE, H. M. Nutritional quality of almond, canarium, cashew and pistachio and their oil photooxidative stability. *Journal of Food Science and Technology*. 2019, roč. 2, č. 56, s. 792–798.
- [25] SUMMO, C.; PALASCIANO, M.; DE ANGELIS, D.; PARADISO, V. M.; CAPONIO, F. et al. Evaluation of the chemical and nutritional characteristics of almonds. Online. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018, roč. 15, č. 98, s. 5647–5655. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9110>. [cit. 2024-11-10].
- [26] ALASALVAR, C. a SHAHIDI, F. Tree nuts: Composition, phytochemicals, and health effects. Online. *CRC press*. 2008, roč. 2, č. 16. Dostupné z: <https://doi.org/10.1365/s10337-010-1619-5>. [cit. 2024-11-10].
- [27] NILOVA, L.; MALYUTENKOVA, S. a PILIPENKO, T. An investigation into the effects of bioactive substances from vegetable oils on the antioxidant properties of bakery products. Online. 2017, č. 15, s. 1399–1410. [cit. 2025-02-14].
- [28] MINGROU, L.; BAI, N.; HO, C.T. a GUO, S. Review on chemical compositions and biological activities of peanut. Online. *Journal Food Biochem*. 2022, č. 46, s. 14119. [cit. 2025-02-14].

- [29] HARRIS, L. J. a FERGUSON, L. Improving the safety of almonds and pistachios. In L. J. Harris (Ed.). *Woodhead Publishing*. 2013, s. 350–378.
- [30] ROMERO, A.; GOU, P.; DIAZ, I.; GUERRERO, L.; VALERO, A. et al. Physico-chemical and sensory property changes in almonds of Desmayo Largueta variety during toasting/Cambios en las propiedades físico-químicas y sensoriales de almendras de la variedad Desmayo Largueta durante el tostado. *Food Science and Technology International*. 2000, roč. 6, č. 1, s. 1–7.
- [31] KAVEH, M., JAHANBAKHSHI, A., ABBASPOUR-GILANDEH, Y., TAGHINEZHAD, E., & MOGHIMI, M. B. F. The effect of ultrasound pretreatment on quality, drying, and thermodynamic attributes of almond kernel under convective dryer using ANNs and ANFIS network. *Journal of Food Process Engineering*. 2018, roč. 41, č. 8.
- [32] FEMENIA, A.; GARCÍA-MARÍN, M.; SIMAL, S.; BLASCO, M.; ROSSELLÓ, C. et al. Effects of supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) oil extraction on the cell wall composition of almond fruits. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001, roč. 12, č. 49, s. 5828–5834. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf010532e>. [cit. 2024-11-10].
- [33] AL JUHAIMI, F., OZCAN, M. M., GHAFOOR, K., BABIKER, E. E., & HUSSAIN, S. Comparison of cold-pressing and Soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils. Online. *Journal of Food Science and Technology*. 2018, roč. 8, č. 55, s. 3163–3173. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3244-5>. [cit. 2024-09-15].
- [34] ÖZCAN, M.M.; ER, F. a ENDES, Z. Physical and chemical properties of some seed and kernel oils. Online. *Asian Journal of Chemistry*. 2010, roč. 8, č. 22, s. 6531–6536. [cit. 2025-02-14].
- [35] MIRALIAKBARI, H. a SHAHIDI, F. Lipid class compositions, tocopherols and sterols of tree nut oils extracted with different solvents. Online. *Journal of Food Lipids*. 2008, roč. 15, č. 1, s. 81–96. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2007.00104.x>. [cit. 2025-02-14].
- [36] ROSENTHAL, A.; NIRANJAN, K. a PYLE, D. L. Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction. Online. *Enzyme and Microbial Technology*. 1996, roč. 6, č. 19, s. 402–420. [cit. 2025-02-14].
- [37] REZAEI, K. a MOGHADAS, H. C. Laboratory-scale optimization of roasting conditions followed by aqueous extraction of oil from wild almond. Online. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2017, roč. 6, č. 94, s. 867–876. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11746-017-2995-x>. [cit. 2024-09-16].
- [38] LIU, L.; ZHANG, R.; XU, L.; ZHAO, Z. a YU, X. Efficient saltaided aqueous extraction of bitter almond oil. Online. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017, roč. 11, č. 97, s. 3814–3821. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8245>. [cit. 2024-09-16].
- [39] MARTÍNEZ, M. L.; MAESTRI, D.; RIBOTTA, P. D.; PENCI, M. C.; BODOIRA, R. M. et al. Walnut and almond oil screw-press extraction at industrial scale: Effects of process parameters on oil yield and quality. Online. *Grasas Y Aceites*. 2017, roč. 4, č. 68. [cit. 2025-02-15].
- [40] AL JUHAIMI, F.; HUSSAIN, S.; BABIKER, E. E.; GHAFOOR, K. a ÖZCAN, M. M. Comparison of cold-pressing and Soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils. Online. *Journal of Food Science and Technology*. 2018, roč. 8, č. 55, s. 3163–3173. [cit. 2025-02-15].

- [41] CHEMAT, F.; FABIANO TIXIER, A. S.; PERINO, S.; HILALI, S.; KHADHRAOUI, B. et al. Review of alternative solvents for green extraction of food and natural products: Panorama, principles, applications and prospects. Online. *Molecules*. 2017, roč. 16, č. 24, s. 3007. [cit. 2025-02-15].
- [42] ROOHINEJAD, S.; GREINER, R.; KHELFA, A.; KOUBAA, M.; BRAHIM, M. et al. Potential of novel technologies for aqueous extraction of plant bioactives. Online. *Water extraction of bioactive compounds*. 2017, s. 399–419. [cit. 2025-02-14].
- [43] SAVOIRE, R.; VOROBIEV, E. a LANOISELLÉ, J. L. Mechanical continuous oil expression from oilseeds. Online. *Food and Bioprocess Technology*. Roč. 6, č. 1, s. 1-16. [cit. 2025-02-15].
- [44] *Měření oxidační a tepelné stability metodou Rancimat*. Online. Metrohm. 2022. Dostupné z: https://www.metrohm.com/cs_cz/products/stability-measurement/Stability-measurement-Rancimat-Thermomat.html. [cit. 2025-02-17].
- [45] KAMAL-ELDIN, Afaf a POKORNÝ, Jan. Analysis of lipid oxidation: preparation, properties and uses. In: . 3. AOCS Press, 2005. ISBN 18-939-9786-3.
- [46] KOCHHAR, S. P. a HENRY, C. J. K. Oxidative stability and shelf-life evaluation of selected culinary oils. Online. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*. 2009, č. 60, s. 289–296. [cit. 2025-02-13].
- [47] CHOE, E. a MIN, D. B. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2006, č. 5, s. 169–186. [cit. 2025-02-13].
- [48] RABADÁN, A.; PARDO, C. d.; GÓMEZ, R. a ÁLVAREZ-ORTÍ, M. Effect of almond roasting, light exposure and addition of different garlic cultivars on almond oil stability. Online. *European Food Research and Technology*. 2018, č. 244, s. 219–224. [cit. 2025-02-13].
- [49] AGRIC, J. Oxidative Stability of Tree Nut Oils. Online. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2008, č. 56, s. 4751–4759. [cit. 2025-02-13].
- [50] SABOLOVÁ, Monika; ZEMAN, Václav; LEBEDOVÁ, Gabriela; DOLEŽAL, Marek; SOUKUP, Josef et al. Relationship between the fat and oil composition and their initial oxidation rate during storage. Online. *Czech Journal of Food Sciences*. 2020, roč. 38, č. 6, s. 404-409. ISSN 12121800. Dostupné z: <https://doi.org/10.17221/207/2020-CJFS>. [cit. 2025-02-14].
- [51] AL JUHAIMI, F.; HUSSAIN, S.; BABIKER, E. E.; GHAFOR, K.; ÖZCAN, M. M. et al. Comparison of cold-pressing and Soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils. Online. *Journal of Food Science and Technology*. Roč. 8, č. 55, s. 3163–3173. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3244-5>. [cit. 2025-02-14].
- [52] SIGER, A.; LAMPART-SZCZAPA, E. a NOGALA-KALUCKA, M. The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils. Online. *Journal Food Lipids*. 2008, č. 15, s. 137–149. [cit. 2025-02-14].
- [53] LEGENDRE, M; ANGELO, AJ St.; VERCELLOTTI, J a JACKS, T. Lipid oxidation in foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. 1996.
- [54] LUNDBERG, W. O. Autoxidation and antioxidants. In *Free Radicals in Biology*. Online. Wiley. 1961. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf8000982#>. [cit. 2024-09-15].
- [55] AOCS. Determination of tocopherols and tocotrienols in vegetable oils and fats by HPLC. Online. *Official Method*. 1989, s. 8-89. [cit. 2025-03-16].
- [56] FIRESTONE, David. Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats, and Waxes. Third Edition. Urbana, IL 61802: AOCS Press, 2013. ISBN 978-0-9830791-9-4. [online]. [cit. 2025-03-19]. Dostupné z:

- <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5516437/course/section/6014434/Firestone%20David-Physical%20and%20Chemical%20Characteristics%20of%20Oils%20C%20Fats%20C%20and%20Waxes%20%283rd%20Edition%29-AOCS%20Press%20%282013%29.pdf>
- [57] ROS, E. Zdravotní přínosy konzumace ořechů. Online. *Živiny*. 2010, roč. 2, s. 652-682. [cit. 2025-03-19].
- [58] GOBBO, Liana C. Del. Jsou fytosteroly zodpovědné za účinky stromových ořechů na snížení lipoproteinů s nízkou hustotou?: Systematický přehled a metaanalýza. Online. *Journal of the American College of Cardiology*. 2015, roč. 65, č. 25, s. 2765-2767. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735109715020367>. [cit. 2025-03-19].
- [59] RYAN, E.; GALVIN, K.; MAGUIRE, A. R. a O'CONNOR, T. P. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of brazil, pecan, pine, pistachio and cashew nuts. Online. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2016, roč. 57, č. 3-4, s. 219–228. [cit. 2025-03-21].
- [60] *Makadamové ořechy - co vše se vyplatí vědět*. Online. Brainmarket. 2021. Dostupné z: https://www.brainmarket.cz/nase-novinky/makadamove-orechy/?srsltid=AfmBOor2X5ZXGWWWhQfoN0ES3-eeFiRf9ueWs0s_zuOxMpIfehaEPjAT7. [cit. 2025-03-21].
- [61] MCMULLEN, Roger L McMullen. Výhody a výzvy ošetření pokožky přírodními oleji. Online. *Int J Cosmet Sci*. 2024, roč. 4, č. 46, s. 553-565. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39113309/>. [cit. 2025-04-09].
- [62] HANUM, Tengku Ismanelly. Makadamiový olej v nanokrémě a konvenčním krému jako pleť proti stárnutí: Srovnávací studie. Online. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019, roč. 7, č. 22, s. 3917-3920. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32128005/>. [cit. 2025-04-09].
- [63] MIRALIAKBARI, H. a SHAHIDI, F. Antioxidant activity of minor components of tree nut oils. Online. *Food Chemistry*. 2008, roč. 2, č. 111, s. 421–427. [cit. 2025-04-16].
- [64] POSPÍŠIL, Ladislav. *PŘÍRODNÍ POLYMERY Deriváty kyselin - přírodní pryskyřice, vysychavé oleje, šelak*. Online, Skripta. Brno: MUNI, 2018. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/podzim2019/C3804/PRIRODNI_POLYMERY_MU_2_2_018.pdf. [cit. 2025-04-16].
- [65] Ořechové oleje do kuchyně patří. Jak je použít? Skvěle se hodí do salátů, pomazánek, polévek. Online. *Apetit*. 2020, s. 1. Dostupné z: <https://www.apetitonline.cz/tipy-triky/orechove-oleje-v-kuchyni-jake-pouzivat>. [cit. 2025-04-20].
- [66] KAIJSER, Anna. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. Online. 2000, roč. 1, č. 71, s. 67-70. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814600001321>. [cit. 2025-04-30].
- [67] MIRALIAKBARI, Homan. Oxidative Stability of Tree Nut Oils. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008, roč. 12, č. 56. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf8000982>. [cit. 2025-04-30].
- [68] MOHAMMED DANLAMI, Jibrin. A comparative study of various oil extraction techniques from plants. Online. *Reviews in Chemical Engineering*. 2014, roč. 6, č. 30. Dostupné z: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/revce-2013-0038/html>. [cit. 2025-04-30].

- [69] DESCALZO, Adriana María. Oxidative Stability and Sensory Properties of Pecan Nuts. 2022, Online. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.106175>. [cit. 2025-04-30].
- [70] SANTOS, O.V. Yield, nutritional quality, and thermal-oxidative stability of Brazil nut oil (*Bertolletia excelsa* H.B.K) obtained by supercritical extraction. Online. *Journal of Food Engineering*. 2013, roč. 4, č. 117, s. 499-504. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413000265>. [cit. 2025-04-30].
- [71] ÖZCAN, Mehmet Musa; AL JUHAIMI, Fahad; GHAFOR, Kashif; BABIKER, Elfadil E. a ÖZCAN, Mustafa Mete. Characterization of physico-chemical and bioactive properties of oils of some important almond cultivars by cold press and soxhlet extraction. Online. *Journal of Food Science and Technology*. 2020, roč. 57, č. 3, s. 955-961. ISSN 0022-1155. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04128-3>. [cit. 2025-05-04].
- [72] NAVARRO, Sandra L.B. a RODRIGUES, Christianne E.C. Macadamia oil extraction methods and uses for the defatted meal byproduct. Online. 2016, roč. 54, s. 148-154. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.001>. [cit. 2025-05-04].
- [73] ROA, V.; TAPIA, M.S. a MILLÁN, F. Mass Balances in Porous Foods Impregnation. Online. *Journal of Food Science*. 2001, roč. 66, č. 9, s. 1332-1336. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15210.x>. [cit. 2025-05-04].
- [74] RAO, Qinchun; ROCCA-SMITH, Jeancarlo R. a LABUZA, Theodore P. Storage stability of hen egg white powders in three protein/water dough model systems. Online. *Food Chemistry*. 2013, roč. 138, č. 2-3, s. 1087-1094. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.082>. [cit. 2025-05-04].
- [75] ALEXANDRE, Elisabete M. C.; ARAÚJO, Paula; DUARTE, Maria F.; DE FREITAS, Victor; PINTADO, Manuela et al. High-pressure assisted extraction of bioactive compounds from industrial fermented fig by-product. Online. *Journal of Food Science and Technology*. 2017, roč. 54, č. 8, s. 2519-2531. ISSN 0022-1155. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2697-2>. [cit. 2025-05-04].
- [76] ALASHI, Adeola M.; BLANCHARD, Christopher L.; MAILER, Rodney J.; AGBOOLA, Samson O.; MAWSON, A. John et al. Antioxidant properties of Australian canola meal protein hydrolysates. Online. *Food Chemistry*. 2014, roč. 146, č. 8, s. 500-506. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.081>. [cit. 2025-05-04].
- [77] WEEMAES, C.; LUDIKHUYZE, L.; VAN DEN BROECK, I.; HENDRICKX, M.; MAWSON, A. John et al. High Pressure Inactivation of Polyphenoloxidases. Online. *Journal of Food Science*. 1998, roč. 63, č. 5, s. 873-877. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb17917.x>. [cit. 2025-05-04].
- [78] MILINSK, Maria Cristina; MATSUSHITA, Makoto; VISENTAINER, Jesuí V.; OLIVEIRA, Cláudio C. de; SOUZA, Nilson E. de et al. Comparative analysis of eight esterification methods in the quantitative determination of vegetable oil fatty acid methyl esters (FAME). Online. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2008, roč. 19, č. 8, s. 1475-1483. ISSN 0103-5053. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532008000800006>. [cit. 2025-05-04].
- [79] AMARAL, J. S. Lipid Oxidation in Food and Biological Systems: A Comprehensive Review. Online. *Food Chemistry*. 2003, roč. 4, č. 81, s. 511–517. [cit. 2025-05-04].

- [80] ZHANG, Bo; CHEN, Xia; HAN, Shun-Yu; LI, Min; MA, Teng-Zhen et al. Simultaneous Analysis of 20 Mycotoxins in Grapes and Wines from Hexi Corridor Region (China): Based on a QuEChERS–UHPLC–MS/MS Method. Online. *Molecules*. 2018, roč. 23, č. 8, s. 511–517. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules23081926>. [cit. 2025-05-04].
- [81] TORNERO, Elisabet Martín. Non-destructive fluorescence spectroscopy for quality evaluation of almond oils extracted from roasted kernel. Online. *Science Direct*. 2024, č. 9. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666831924000481>. [cit. 2025-05-06].
- [82] ZHANG, Yuan-Yuan; ZHANG, Fang; THAKUR, Kiran; CI, Ao-Te; WANG, Hao et al. Effect of natural polyphenol on the oxidative stability of pecan oil. Online. *Food and Chemical Toxicology*. 2018, roč. 119, č. 9, s. 489-495. ISSN 02786915. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.001>. [cit. 2025-05-06].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Celé mandle a para ořechy.....	35
Obrázek 2: Najemno nadrcené mandle a para ořechy.....	35
Obrázek 3: Mandle a para ořechy po extrakci rozpouštědlem petroleum spirit.....	35
Obrázek 4: Soxhletův extraktor s rozdrčenými pekanovými a makadamovými ořechy.....	36
Obrázek 5: Plynový chromatograf Shimadzu GC-2010 Pro.....	42
Obrázek 6: Graf chromatogramu – Mandle in-situ.....	43
Obrázek 7: Graf chromatogramu – Mandlový olej.....	44
Obrázek 8: Graf chromatogramu – Para ořech in-situ.....	45
Obrázek 9: Graf chromatogramu – Olej z para ořechů.....	46
Obrázek 10: Graf chromatogramu – Standard A.....	47
Obrázek 11: Graf chromatogramu – Mandle in-situ.....	48
Obrázek 12: Graf chromatogramu – Mandlový olej.....	49
Obrázek 13: Graf chromatogramu – Para ořechy in-situ.....	49
Obrázek 14: Graf chromatogramu – Olej z para ořechů.....	50
Obrázek 15: Graf chromatogramu – Makadamové ořechy in-situ.....	51
Obrázek 16: Graf chromatogramu – Makadamový olej.....	52
Obrázek 17: Graf chromatogramu – Pekanové ořechy in-situ.....	52
Obrázek 18: Graf chromatogramu – Pekanový olej.....	53
Obrázek 19: Rancimat – 892 Professional Rancimat; Metrohm.....	66
Obrázek 20: Průběh oxidace oleje z para ořechů při 110 °C.....	67
Obrázek 21: Průběh oxidace mandlového oleje při 120 °C	68
Obrázek 22: Průběh oxidace pekanového oleje při 100 °C.....	70
Obrázek 23: Průběh oxidace makadamového oleje při 110 °C.....	70
Obrázek 24: Průběh oxidace pekanového oleje při 110 °C.....	71

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdíly ve složení mastných kyselin u čtyř odrůd mandlového oleje.....	16
Tabulka 2: Rozdíly v zastoupení triacylglycerolů u čtyř odrůd mandlového oleje.....	16
Tabulka 3: Rozdíly v zastoupení fenolu a tokoferolu u čtyř odrůd mandlového oleje.....	17
Tabulka 4: Obecný přehled zastoupení mastných kyselin u vybraných druhů ořechů.....	19
Tabulka 5: Množství oleje a zastoupení mastných kyselin u vybraných druhů ořechů.....	20
Tabulka 6: Navážka nahrubo nadrcených mandlí a para ořechů.....	32
Tabulka 7: Výtěžek oleje.....	32
Tabulka 8: Navážka najemno nadrcených mandlí a para ořechů.....	33
Tabulka 9: Výtěžek oleje.....	33
Tabulka 10: Navážka nahrubo nadrcených pekanových a makadamových ořechů.....	33
Tabulka 11: Výtěžek oleje.....	33
Tabulka 12: Srovnání výtěžků oleje u jednotlivých druhů ořechů.....	35
Tabulka 13: Navážka nahrubo nadrcených mandlí a para ořechů.....	37
Tabulka 14: Výtěžek oleje.....	37
Tabulka 15: Navážka nahrubo nadrcených pekanových a makadamových ořechů.....	37
Tabulka 16: Výtěžek oleje.....	38
Tabulka 17: Srovnání výtěžků oleje u jednotlivých druhů ořechů.....	38
Tabulka 18: Srovnání výtěžků oleje po Soxhletově a klasické extrakci.....	38
Tabulka 19: Navážka ořechů a chemikálií.....	40
Tabulka 20: Navážka ořechů a chemikálií.....	41
Tabulka 21: Navážka ořechů a chemikálií.....	41
Tabulka 22: Navážka ořechů a chemikálií.....	41
Tabulka 23: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro mandle in-situ.....	43
Tabulka 24: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro mandlový olej.....	44
Tabulka 25: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro para ořech in-situ.....	45
Tabulka 26: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro olej z para ořechu.....	46
Tabulka 27: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro Standard A.....	47
Tabulka 28: Poměry zastoupených mastných kyselin ve vzorcích; plynová chromatografie na přístroji Shimadzu GC-14A.....	48
Tabulka 29: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro Mandle in-situ.....	48
Tabulka 30: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro mandlový olej.....	49
Tabulka 31: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro para ořechy in-situ.....	50
Tabulka 32: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro olej z para ořechů.....	50
Tabulka 33: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro makadamové ořechy in-situ.....	51
Tabulka 34: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro makadamový olej.....	52
Tabulka 35: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro pekanové ořechy in-situ.....	53
Tabulka 36: Výsledek retenčních časů a plochy píků pro pekanový olej.....	53
Tabulka 37: Poměry zastoupených mastných kyselin ve vzorcích.....	56
Tabulka 38: Poměry zastoupených mastných kyselin ve vzorcích.....	56
Tabulka 39: Navážky jednotlivých olejů a spotřeba thiosíranu sodného při titraci.....	58
Tabulka 40: Výpočet jodového čísla pro jednotlivé oleje.....	60
Tabulka 41: Navážka oleje a spotřeba thiosíranu sodného při titraci [ml].....	62
Tabulka 42: Výpočet peroxidového čísla pro jednotlivé oleje.....	64
Tabulka 43: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110 °C.....	67
Tabulka 44: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=120 °C.....	67
Tabulka 45: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110–120 °C.....	68
Tabulka 46: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110 °C.....	69

Tabulka 47: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=100 °C.....	69
Tabulka 48: Navážka ořechů [g] a indukční perioda [h]; T=110 °C.....	70
Tabulka 49: Srovnání indukční periody u jednotlivých druhů ořechů a olejů z nich extrahovaných.....	72

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MK	Mastná kyselina
MUFA	Mononenasycená mastná kyselin
PUFA	Polynenasycená mastná kyselina
SFA	Nasycená mastná kyselina