

Vliv složení mastných kyselin na stabilitu tradičních a netradičních rostlinných olejů

Bc. Kristýna Ondroušková

Diplomová práce
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Kristýna Ondroušková
Osobní číslo: T18274
Studijní program: N2901 Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Technologie potravin
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Vliv složení mastných kyselin na stabilitu tradičních a netradičních rostlinných olejů.

Zásady pro vypracování

Teoretická část

1. Druhy rostlinných olejů, jejich chemické složení a vlastnosti
2. Význam tuků ve výživě člověka
3. Získávání a zpracování olejů
4. Produkce a spotřeba olejů a olejin, legislativa
5. Vybrané metody analýzy tuků a olejů

Praktická část

1. Metody měření analýzy olejů
2. Výsledky a diskuze
3. Formulace závěrů práce

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

Seznam doporučené literatury:

1. VEJŠEK, Jan., HAUŠLOVÁ Jana. *Chemie potravin. Rozs. a přeprac.* 3. vyd. Tábor: OSSIS, 2009, 2 sv. ISBN 978-80-86659-17-6.
2. KADLEC, Pavel. *Technologie potravin 2*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2008, 236 s. ISBN: 80-7080-510-2.
3. O'BRIEN, Richard D. *Fats and oils: formulating and processing for applications*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2004, 592 s. ISBN 0849315999.
4. ROUESSAC, Francis a Annick ROUESSAC. *Chemical analysis: modern instrumentation methods and techniques*. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2007, xxiii, 574 s. ISBN 978-0-470-85903-2.
5. HERNANDEZ, Ernesto a Afaf KAMAL-ELDIN. *Processing and nutrition of fats and oils*. Chichester, West Sussex, UK: IFT Press, Wiley Blackwell, 2013, 1 online zdroj (x, 266 stran). IFT Press series. ISBN 978-1-1185-2876-1.

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

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

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 17. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo sledovat vliv složení mastných kyselin na stabilitu rostlinných olejů a tuků. Složení mastných kyselin bylo stanoveno pomocí plynové chromatografie a následně byly sledovány parametry kvality těchto olejů pomocí diferenční skenovací kalorimetrie, fluorescenční spektrometrie a infračervené spektrometrie s technikou ATR. Běžně využívané oleje (olivový, slunečnicový, řepkový) byly podrobeny tepelnému stárnutí a následně byla hodnocena jejich kvalita stanovením čísla kyselosti a peroxidového čísla. Tepelné stárnutí bylo simulováno zahřevem na cca 135 °C až 150 °C po dobu 24 hodin. S dobou zahřevu se zvyšovalo množství oxidačních produktů, a naopak klesalo množství chlorofylu. Nejnižší tepelnou stabilitu vykazoval olivový olej, což bylo vzhledem k jeho vysokému obsahu nenasycených mastných kyselin předpokládáno.

Klíčová slova: rostlinné tuky a oleje, plynová chromatografie, DSC, FT-IR, fluorescenční spektrometrie, tepelná stabilita

ABSTRACT

The aim diploma theses were influenced by the fatty acid composition of vegetable oils and fats. The fatty acid composition was determined by gas chromatography and the monitored quality parameters of these oils by differential scanning calorimetry, fluorescence spectroscopy and infrared spectroscopy with the technique of ATR. Commonly used oils (olive, sunflower, rapeseed) were subjected to thermal aging and their quality was determined by determining the acid number and peroxide number. Thermal aging was simulated by heating to about 135 °-150°C C for 24 hours. With heating time, the amount of oxidation products increases and the amount of chlorophyll can be reduced. The greatest thermal threat is recorded by olive oil, which was put on its high content of unsaturated fatty acids expected.

Keywords: vegetable oils and fats, gas chromatography, DSC, FT-IR, fluorescence spectroscopy, thermal stability

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí své diplomové práce paní doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D za odborné vedení, cenné rady a péči, kterou věnovala realizaci diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Tomáši Valentovi, Ph.D. za pomoc při práci v laboratořích. Ráda bych také poděkovala svým rodičům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 DRUHY ROSTLINNÝCH OLEJŮ, JEJICH CHEMICKÉ SLOŽENÍ A VLASTNOSTI	12
1.1. OBECNÉ SLOŽENÍ TUKŮ A OLEJŮ	12
1.1.1 Mastné kyseliny	13
1.1.2 Nasycené mastné kyseliny	13
1.1.3 Nenasycené mastné kyseliny.....	13
1.1.4 Biosyntéza mastných kyselin	14
1.2 SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH ROSTLINNÝCH OLEJŮ A TUKŮ	14
1.2.1 Olivový olej.....	14
1.2.2 Řepkový olej	15
1.2.3 Slunečnicový olej	16
1.2.4 Sójový olej	16
1.2.5 Arašídový olej	17
1.2.6 Sezamový olej	17
1.2.7 Mandlový olej	18
1.2.8 Lněný olej.....	18
1.2.9 Kokosový olej	19
1.2.10 Kakaové máslo	20
2 VÝZNAM TUKŮ VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA	21
2.1 LIPOPROTEINY.....	21
2.1.1 LDL – Nízkohustotní protein (low density lipoprotein)	22
2.1.2 HDL – Vysokohustotní lipoprotein (high density lipoprotein).....	22
2.2 STÁRNUTÍ OLEJŮ	22
2.2.1 Změny během skladování	22
2.2.2 Změny olejů při tepelné úpravě.....	23
2.2.3 Změny při smažení	24
2.2.4 Toxicita vybraných látek vnikajících v olejích a tucích při smažení	25
2.2.5 Žluknutí tuků.....	27
3 ZÍSKÁVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ OLEJŮ	29
3.1 ÚPRAVA SEMEN.....	29
3.2 IZOLACE	30
3.3 RAFINACE	31
3.4 VÝROBA PANENSKÉHO A EXTRA PANENSKÉHO OLIVOVÉHO OLEJE	32
3.5 VÝROBA OLEJŮ ZE SEMEN	33
4 PRODUKCE A SPOTŘEBA OLEJŮ A OLEJNIN, LEGISLATIVA	34
4.1 SPOTŘEBA TUKŮ A OLEJŮ V ČESKÉ REPUBLICĚ	34
4.2 SPOTŘEBA OLEJŮ.....	35

4.3	SPOTŘEBA OLEJNIN	35
4.4	LEGISLATIVA.....	36
5	VYBRANÉ METODY ANALÝZY TUKŮ A OLEJŮ.....	38
5.1	PLYNOVÁ CHROMATOGRAFIE	38
5.2	PLYNOVÝ CHROMATOGRAF.....	39
5.3	DETEKTORY VYUŽÍVANÉ V PLYNOVÉ CHROMATOGRAFII	42
5.3.1	Hmotnostní spektrometr (MS)	42
5.3.2	Plamenový ionizační detektor (FID).....	42
5.3.3	Tepelně vodivostní detektor (TCD)	42
5.4	DIFERENČNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE.....	43
6	SPEKTROSKOPICKÉ METODY.....	44
6.1	INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE S FURIEROVOU TRANSFORMACÍ A TECHNIKOU ZESLABENÉHO ÚPLNÉHO ODRAZU	44
6.2	FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE	45
6.2.1	Emisní a excitační spektra.....	46
6.2.2	Jablonského diagram	46
6.3	UV-VIS SPEKTROMETRIE.....	47
6.3.1	Elektronová absorpční spektra	48
6.3.2	Využití spektrometrie.....	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
7	CÍL PRÁCE	51
8	METODIKA PRÁCE.....	52
8.1	POUŽITÉ CHEMIKÁLIE A POMŮCKY	52
8.1.1	Chemikálie	52
8.1.2	Pomůcky.....	52
8.2	CHARAKTERISTIKA VZORKU.....	53
8.3	STANOVENÍ MASTNÝCH KYSELIN U JEDNOTLIVÝCH OLEJŮ	54
8.4	DIFERENČNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE (DSC).....	55
8.5	FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE	56
8.6	INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE S FOURIEROVOU TRANSFORMACÍ (FITR) S TECHNIKOU ZESLABENÉHO ÚPLNÉHO ODRAZU (ATR).....	56
8.7	TEPELNÉ NAMÁHÁNÍ OLEJŮ	56
8.7.1	UV-VIS spektrometrie	57
8.7.2	Stanovení čísla kyselosti	57
8.7.3	Stanovení peroxidového čísla	57
9	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	59
9.1.	VÝSLEDKY A DISKUZE U TEPELNĚ NEZAHŘÍVANÝCH OLEJŮ.....	59
9.1.1.	Výsledky stanovení mastných kyselin u jednotlivých olejů	60

9.1.2.	Výsledky diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)	67
9.1.3.	Výsledky fluorescenční spektrometrie	69
9.1.4.	Výsledky FT-IR	70
9.2	VÝSLEDKY A DISKUZE TEPELNĚ NAMÁHÁNÍ OLEJŮ	73
9.2.1	Výsledky FT-IR	73
9.2.2	Výsledky UV-VIS spektrometrie	76
9.2.3	Výsledky čísla kyselosti	77
9.2.4	Výsledky peroxidového čísla	82
9.2.5	Statistická analýza dat	84
9.2.6	Tepelná stabilita kokosového oleje	85
ZÁVĚR	87	
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	89	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	99	
SEZNAM OBRÁZKŮ	100	
SEZNAM TABULEK	101	
SEZNAM PŘÍLOH	102	

ÚVOD

Tuky patří mezi základní makronutrienty a jsou hlavním energetickým zdrojem ve výživě člověka. Spotřeba tuků je v dnešní době vyšší, než je aktuální doporučené množství. Důležité je složení mastných kyselin. Lidé by měli konzumovat co nejvíce tuků s nenasycenými mastnými kyselinami, a naopak se vyvarovat nasyceným a *trans* nenasyceným mastným kyselinám.

Spotřeba rostlinných olejů v posledních letech vzrostla na úkor živočišných tuků. Díky velké rozmanitosti a lehké dostupnosti se začaly využívat tradiční i méně tradiční rostlinné oleje s vyšší obsahem nenasycených mastných kyselin. Výhodou rostlinných olejů je jejich využití v teplé i studené kuchyni.

Cílem této práce je stanovení mastných kyselin ve vybraných rostlinných olejích a tucích pomocí plynové chromatografie. Následně u těchto olejů a tuků stanovit vybrané jakostní znaky. Pro analýzy byly využity moderní technologie: diferenční skenovací kalorimetrie, spektrální metody (fluorescence, UV-VIS, infračervená spektrometrie). Výhodou těchto metod je vysoká citlivost a nedestruktivnost. Závěr praktické části byl věnován analýze tepelného stárnutí v běžně využívaných olejích (olivový, slunečnicový, řepkový) a zjištění účinnosti tepelné oxidace na tyto oleje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DRUHY ROSTLINNÝCH OLEJŮ, JEJICH CHEMICKÉ SLOŽENÍ A VLASTNOSTI

1.1 Obecné složení tuků a olejů

Rostlinné tuky a oleje řadíme podle chemického složení do skupiny lipidů. Jsou to organické sloučeniny, přesněji estery trojsytného alkoholu (glycerolu) a mastných kyselin. Rostlinné oleje se velmi těžko vyrábí syntetickým způsobem, proto se nejčastěji získávají přímo z rostlinných součástí. Rozdílné složení mastných kyselin a jejich poloha v molekule značně ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti olejů, zvláště jejich konzistenci. Vyšší obsah nasyčených mastných kyselin dává olejům tuhý charakter, naopak vyšší obsah nenasycených mastných kyselin dává olejům tekutý charakter [1].

Lipidy jsou jedny z nejvýznamnějších složek potravin a ve výživě člověka hrají velmi důležitou roli pro zdraví a vývoj organismu. Lipidy nepředstavují jednotně definovanou skupinu, jelikož hlavním kritériem při zařazení do této skupiny je hydrofobnost a ne jejich chemické složení [2].

Lipidy můžeme definovat jako přírodní sloučeniny obsahující esterově vázané mastné kyseliny o více než třech atomech uhlíku v molekule.

Lipidy lze rozdělit podle chemického složení do čtyřech hlavních skupiny na:

- Homolipidy
- Heterolipidy
- Komplexní lipidy
- Doprovodné látky lipidů.

Homolipidy můžeme definovat jako sloučeniny mastných kyselin a alkoholů. Homolipidy se dále dělí podle struktury vázaného alkoholu.

Heterolipidy obsahují kromě mastných kyselina a alkoholu ještě další kovalentně vázané sloučeniny, například kyselinu fosforečnou, v takovém případě je nazýváme fosfolipidy.

Komplexní lipidy obsahují homolipidy i heterolipidy. Některé složky jsou kromě kovalentních vazeb vázány jinými fyzikálními vazbami, například hydrofobními nebo vodíkovými interakcemi.

Mezi doprovodné látky lipidů se řadí velké množství sloučenin, například: karotenoidy, terpenoidy, steroidy, lipofilní vitamíny, některá barviva, přírodní antioxidanty atd. [1,2].

1.2 Mastné kyseliny

Mastné kyseliny jsou z hlediska výživy nejdůležitější složkou lipidů. Podle názvosloví organické chemie se mastné kyseliny definují jak karboxylové kyseliny s alifatickým uhlovodíkovým řetězcem, tato definice však nepokrývá mastné kyseliny přítomné v nějakých lipidech. V potravinách se vyskytují v lipidech následující mastné kyseliny:

- Nasycené mastné kyseliny
- Nenasycené mastné kyseliny s jednou dvojnou vazbou, tzv. monoenové mastné kyseliny
- Nenasycené mastné kyseliny s několika dvojnými vazbami, tzv. polyenové mastné kyseliny
- Mastné kyseliny s trojnými vazbami a s různými substituenty, např. rozvětvené, cyklické, s kyslíkatými, dusíkatými nebo sirnými funkčními skupinami [1].

1.2.1 Nasycené mastné kyseliny

Nasycené mastné kyseliny, někdy také nazývané jako satureované, jsou běžnou součástí přírodních lipidů. V lipidech jsou zastoupeny z 10 až 40 % z celkového počtu mastných kyselin. Mají zpravidla rovný nerozvětvený řetězec a obsahují 4 až 60 uhlíků. Místo systematických názvů se velmi často používají názvy triviální. Obecný vzorec nasycených mastných kyselin: $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-COOH}$ [1].

1.2.2 Nenasycené mastné kyseliny

Nenasycené mastné kyseliny obsahují ve svém řetězci jednu nebo více nenasycených dvojných vazeb. Mastné kyseliny s jednou dvojnou vazbou se nazývají monoenové, liší se navzájem počtem atomů uhlíků, polohou dvojných vazeb a její prostorovou konfigurací. Hlavním zástupcem monoenových mastných kyselin je kyselina olejová. Mastné kyseliny s dvěma dvojnými vazbami se nazývají dienové a jsou velmi důležité ve výživě. Hlavním

zástupcem dienových mastných kyselin je kyselina linolová. Mastné kyseliny s dvěma a více dvojnými vazbami se také dělí podle polohy první dvojně vazby od koncové metylové skupiny na n-6 (ω -6), což znamená, že první dvojná vazba se nachází na 6. uhlíku od metylového konce řetězce. Obdobně u mastných kyselin n-3 (ω -3) znamená, že první dvojná vazba se nachází na 3. uhlíku od metylového konce řetězce [1,3].

1.2.3 Biosyntéza mastných kyselin

Volné mastné kyseliny přijímá člověk ve stravě jen minimálně. Ostatní lipidy, které člověk přijímá se enzymově štěpí v tenkém střevě a do těla se vstřebávají střevní stěnou. Nasycené a nenasycené mastné kyseliny si je člověk schopen syntetizovat podobně jako jiní živočichové v tukové tkáni a játrech. Polyenové mastné kyseliny řady n-3 a n-6 si člověk sám syntetizovat neumí a musí je nebo jejich prekurzory v dostatečném množství přijímat potravou, jelikož jsou pro život nezbytné. Takové mastné kyseliny se nazývají esenciální [4].

Syntéza mastných kyselin probíhá v cytoplazmě. Syntéza mastných kyselin s vyšším počtem uhlíků v řetězci probíhá v endoplazmatickém retikulu a mitochondriích procesem zvaným elongace neboli prodlužování [5].

1.3 Složení jednotlivých rostlinných olejů a tuků

1.3.1 Olivový olej

Olivový olej můžeme rozdělit do skupin:

- Panenský olivový olej, který se dále dělí na extra, fine a semi-fine. Panenské olivové oleje dělíme především podle jejich kyselosti a dále podle dalších kritérií jako jsou peroxidové číslo a sensorické vlastnosti (vůně, chuť, barva, vzhled).
- Olivový olej, který byl podroben rafinaci, tedy rafinovaný olej
- Rafinovaný olej, který byl získán extrakcí oliv různými rozpouštědly
- Směsi předchozích skupin olejů

Složení olivového oleje je silně závislé na druhu oleje a také na oblasti, ve které byly olivovníky pěstovány. Nejvíce jsou zastoupeny monoenové mastné kyseliny, zejména kyselina olejová [6].

Kromě mastných kyselin obsahuje olivový olej také další látky například: aldehydy, ketony, alkoholy a jiné. Tyto látky hrají velmi důležitou roli v aroma panenských olejích. Mezi další

důležité látky patří karotenoidy, polyfenoly a tokoferoly. Jsou sice zastoupeny pouze ve stopovém množství, ale v oleji slouží jako antioxidanty, čímž přispívají k oxidační stabilitě oleje. Polyfenoly také připisují olivovému oleji jeho typické aroma.

Olivový olej má v potravinářství široké zastoupení, používá se ve studené kuchyni například na přípravu zálivek a dresingů, i v teplé kuchyni. Ovšem panenské olivové oleje by se pro tepelnou úpravu používat neměly, jelikož dochází ke ztrátám těchto minoritních látek. Olivový olej je také využíván v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu. Složení mastných kyselin olivového oleje je uvedeno v tabulce č.1 [7,8].

Tabulka 1 Kyselinové složení olivového oleje [9]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Palmitová	14-20
Stearová	3-6
Olejová	60-80
Linolová	3-14

1.3.2 Řepkový olej

Řepkový olej je získáván z řepky olejné, což je brukvovitá rostlina podobně jako například zelí nebo hořčice. Pro tyto rostliny je typický vysoký obsah monoenoových mastných kyselin, a to: kyseliny erukové (40-45 %) a kyseliny eikosanové (asi 10 %). Toto složení není pro výživu příliš vhodné, proto byly vyšlechtěny nové odrůdy bezerukové řepky. Dále byl šlechtěním snížen obsah kyseliny linolenové, tím došlo ke zlepšení tepelné odolnosti a je tedy vhodný i ke krátkému a jednorázovému smažení. Hydrogenovaná forma řepkového oleje se také používá jako tuková násada pro výrobu margarínů. Metylestery kyselin řepkového oleje jsou v poslední době využívány jako součást bionafty. Kyselinové složení řepkového oleje je zaznamenáno v tabulce č. 2 [10,11,12].

Tabulka 2 Kyselinové složení řepkového oleje [9]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Palmitová	4
Stearová	2
Olejová	60
Linolová	26

1.3.3 Slunečnicový olej

Existují dva typy slunečnicového oleje, první typ je typický vysokým obsahem kyseliny linolové, a to až z 70 % a nízkým obsahem nasycených mastných kyselin cca 10 % a pouze stopovým množstvím kyseliny linolové. Tohle kyselinové složení předurčuje olej k aplikaci ve studené kuchyni. Genetickým vývojem slunečnice v bývalém Sovětském svazu vznikl tzv. olejový slunečnicový olej, v tomto oleji je zvýšen obsah kyseliny olejové na úkor kyseliny linolové. Olivový slunečnicový olej je složením podobný řepkovému oleji a jeho výhodou je tedy vyšší tepelná stabilita. Složení klasického a olejového slunečnicového oleje je uvedeno v tabulce č. 3 [12,13].

Tabulka 3 Kyselinové složení klasického a olejového slunečnicového oleje [9]

Kyselina	MK v klasickém sl. oleji (% hm.)	MK v olejovém sl. oleji (% hm.)
Palmitová	7	6
Stearová	4	5
Olejová	15	83
Linolová	70	10
Linolenová	Stopy	Stopy

1.3.4 Sójový olej

Sója je stará kulturní rostlina a pro přípravu sójového oleje se využívají sójové boby. Sójové boby obsahují poměrně nízký obsah oleje, přibližně 25 %. Kromě oleje obsahují boby také 40-45 % velmi hodnotných bílkovin, 4-8 % vlákniny a cca 4 % fosfolipidů. Jednotlivé složky bobů jsou průmyslově zpracovány a využívány ve výživě lidí a zvířat. Část bobů je také využívána pro přímí konzum. Vzhledem ke komplexnímu zpracování jednotlivých komponent bobů je jeho produkce největší ze všech olejů a dosahuje 25-30 % z celkové produkce olejů. Složení sójového oleje je popsáno v tabulce č. 4 [9,14,15].

Tabulka 4 Kyselinové složení sójového oleje [9]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Palmitová	8-13
Stearová	2-5
Olejová	17-26
Linolová	50-62
Linolenová	4-10

1.3.5 Arašídový olej

Arašídový olej je typický svou příjemnou oříškovou chutí. Vzhledem k tomu, že neabsorbuje chutě potravin, je velmi vhodný na smažení a díky tomu si každá potravina udrží svoji typickou chuť a aroma. Arašídový olej lze řadit mezi jeden z nejzdravějších olejů, jelikož obsahuje velmi malé množství cholesterolu a nízký obsah nasycených mastných kyselin. V tomto oleji jsou nejvíce zastoupeny monoenové mastné kyseliny. Arašídový olej je také zdrojem antioxidantů, fytosterolů a vitamínu E. Barva oleje, která je světle žlutá, je dána přítomností β -karotenu a luteinu. Oxidační stabilita je spojena s vyzrálostí arašídového oleje, čím je olej vyzrálější tím více je olej stabilní. Kyselinové složení arašídového oleje je uvedeno v tabulce č. 5 [9,12,16].

Tabulka 5 Kyselinové složení arašídového oleje [9]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Palmitová	8
Stearová	1,3
Olejová	62
Linolová	20
Eikosenová	3

1.3.6 Sezamový olej

Sezam pochází z Afriky a je to jedna z nejstarších olejnin. Sezamové semínko obsahuje 50–60 % olej s vynikající oxidační stabilitou, díky přítomnosti přírodních antioxidantů, jako je sesamol, sesamin a sesamol a také tokoferolů. Sezamové semínko dále obsahuje 20-25 % bílkovin a také velké množství minerálů, zejména vápníku, fosforu, draslíku a železa. Kromě výroby oleje se sezamová semínka využívají v pekařském průmyslu (jako ozdoba na chleby, housky, tyčinky a sušenky) a také v cukrářských výrobcích. Kyselinové složení sezamového oleje je uvedeno v tabulce číslo 6 [10,16,17].

Tabulka 6 Kyselinové složení sezamového oleje [9]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Palmitová	9
Stearová	5
Olejová	37
Linolová	44

1.3.7 Mandlový olej

Surovinou pro výrobou mandlového oleje jsou mandle produkované mandloní obecnou. Mandlový olej je bohatý na kyselinu olejovou a svým složením je podobný olivovému oleji. Mandlový olej vykazuje vysokou oxidační a chladovou stabilitu, což znamená pomalou tvorbu krystalů a je charakteristický nízkým obsahem cholesterolu. Olej se kromě potravinářství, vzhledem ke své nemastící povaze, hojně používá v kosmetickém průmyslu. Běžně se olej používá pro masážní oleje, jelikož vyvolává příjemný pocit pokožky. Kyselinové složení mandlového oleje je uvedeno v tabulce číslo 7 [18,19,20].

Tabulka 7 Kyselinové složení mandlového oleje
[19,20]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Palmitová	6
Stearová	2
Olejová	67
Linolová	23

1.3.8 Lněný olej

Lněný olej se vyrábí ze semen lnu setého. Největší pěstovatel lnu je v dnešní době Kanada. Pěstují se dvě odrůdy lnu: přadný, který se používá pro výrobu tkaniny, a olejný pro výrobu oleje. Semena obsahují 36-42 % lněného oleje. Olej se ze semen běžně získává tlakem. Lněný olej je jeden z nejvíce nenasycených olejů, protože má vysoké množství nenasycených mastných kyselin, z toho důvodu rychle oxiduje. V Austrálii byly vyšlechtěny nové odrůdy lnu, zvané linola, které mají snížený obsah kyseliny linolenové (okolo 2 %). Lněný olej je bohatý na kyselinu α -linolovou. Tato kyselina patří do skupiny esenciálních ω -3 mastných kyselin. Lněný olej je také bohatý na přírodní antioxidanty, β -karoten a karotenoidy. Složení mastných kyselin ve lněném oleji je uvedeno v tabulce číslo 8 [16,21,22].

Tabulka 8 Kyselinové složení lněného oleje [9]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Palmitová	7
Stearová	6
Olejová	20
Linolová	15
Linolenová	52

1.3.9 Kokosový olej

Kokosová palma patří mezi kulturní stromy pěstované na tropickém pobřeží Asie a Sri Lance. Kokosová palma plodí 50-70 kusů ročně, a plod kokosové palmy se nazývá kokosový ořech. Pro výrobu tuku se využívá dužina kokosového ořechu, která se suší. Tento vysušený produkt se nazývá kopra a obsahuje 55-65 % oleje, dále také bílkoviny a sacharidy. V kokosovém oleji jsou zastoupeny především nasycené mastné kyseliny s krátkým řetězcem, což udává oleji jeho typickou konzistenci (bod tání: 23,6 °C).

Kokosový olej bývá v potravinářství využíván především jako tuková násada při výrobě margarínů. Pro tyto účely musí být olej dobře rafinován, a to hlavně kvůli deodoraci, jelikož v přítomnosti vody může docházet v důsledku β -oxidace kyselin s krátkým řetězcem ke žluknutí. Při této reakci vznikají metylketony, které jsou typické nepříjemným zápachem. Kyselinové složení kokosového oleje je uvedeno v tabulce číslo 9 [23,24].

Tabulka 9 Kyselinové složení kokosového oleje
[9,23]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Kapronová	>1
Kaprylová	5-10
Kaprínová	5-10
Lauronová	40-55
Myristová	15-25
Palmitová	5-10
Stearová	1-3
Olejová	5-11
Linolová	1-2

1.3.10 Kakaové máslo

Kakaové máslo se vyrábí z fermentovaných kakaových bobů. Kakaové boby obsahují 50-60 % tuku typického svou vůní. Tuk se z kakaových bobů získává lisováním usušených bobů při výrobě kaka. Kakaové máslo obsahuje velmi rozmanité složení mastných kyselin a má úzký bod tání, v rozmezí 25–30 °C. Kakaové máslo má do 30 °C tuhou konzistenci, díky tomu lze udržet čokoládu krátkou dobu v ruce, aniž by došlo k jejímu rozpuštění. K postupnému rozpuštění čokolády dochází až v ústech. Složení mastných kyselin je uvedeno v tabulce č. 10 [9,25].

Tabulka 10 Kyselinotvorné složení kakaového másla

[9]

Kyselina	Obsah MK (% hm.)
Myristová	<1
Palmitová	29
Stearová	32
Olejová	32
Linolová	4
Arachová	<1

2 VÝZNAM TUKŮ VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA

Lipidy jsou součástí buněk živočichů a rostlin, v lidském těle slouží především jako zdroj energie. Lipidy patří mezi základní makronutrienty a vykazují nejbohatší zdroj energie. Oxidací 1 g tuku získá organismus 38 kJ (9 kcal), což je dvojnásobné množství oproti oxidaci sacharidů či bílkovin [26].

Lipidy jsou neodmyslitelnou součástí potravy, díky své vysoké energetické hodnotě. K dalším významným vlastnostem lipidů patří obsah esenciálních mastných kyselin a vitamínů rozpustných v tucích [1,27].

Lipidy se vyskytují jako součást buněčných membrán, relativně velká část je i součástí nervové tkáně, kde vytváří elektrickou izolaci myelinovými pochvami, které obklopují axony neuronů. Lipidy také slouží jako tepelný izolátor v podkožních tkáních i některých orgánech, například játrech a chrání orgány před mechanickým poškozením [26,27].

2.1 Lipoproteiny

Jedná se o skupinu skládající se z lipidové a bílkovinné složky. Hlavní funkce lipoproteinů je transport triacylglycerolů a cholesterolu. Lipoproteiny krevní plazmy přenášejí lipidy prostřednictvím krve a lymfatického systému. Lidské plazmatické lipoproteiny lze dělit podle hustoty a elektroforetické pohyblivosti do pěti základních skupin. Přehled lipoproteinů je uveden v tabulce č. 11 [1,28].

Tabulka 11 Přehled lipoproteinů krevního séra

Lipoprotein	Tryacylglyceroly (%)	Cholesterol a chlosterolestery (%)	Fosfolipidy (%)	Proteiny (%)
VLDL	83	8	7	2
LDL	50	22	18	9
IDL	10	46	22	21
HDL	8	30	29	33
VHDL	5	19	21	57

Převzato od: Velíšek, J., (2009): *Chemie potravin I.*

VLDL	lipoproteiny o velmi nízké hustotě
LDL	lipoproteiny o nízké hustotě
IDL	lipoproteiny o střední hustotě
HDL	lipoproteiny o vysoké hustotě
VHDL	lipoproteiny o velmi vysoké hustotě

2.1.1 LDL – Nízkohustotní protein (low density lipoprotein)

Základní součást buněčných membrán a všech živočišných buněk je cholesterol. Je buď přijímán v potravě, nebo je syntetizován organismem. Cholesterol je získáván především endocytózou. Lipoproteiny o nízké hustotě (LDL) jsou vychytávány LDL receptory, které se hromadí v jamkách buněčných membránách. Jamky jsou stabilizovány proteinem klatrinem, které jsou vchlipovány do jádra buňky. To způsobí vytvoření membránových váčků, které následně fúzí s lysozomy. Receptorová endocytózou je hlavním mechanismem, kterým buňky přijímají velké molekuly. Hromadění cholesterolu je možné zastavit dvěma mechanismy:

2. Přebytečná hladina cholesterolu v nitru buňky potlačuje syntézu LDL receptorů, tím dojde ke snížení rychlosti hromadění LDL endocytózou.
3. Nadbytečný intracelulární cholesterol je inhibován biosyntézou [29].

2.1.2 HDL – Vysokohustotní lipoprotein (high density lipoprotein)

HDL lipoproteiny jsou tvořeny v buňkách tenkého střeva a jater a mají opačnou funkci jako lipoproteiny LDL. HDL lipoproteiny obsahují cholesterol až po jeho odebrání z povrchových membrán buněk a jeho přeměně na estery působením lecitin-cholesterol-acyltransferázy. HDL lipoproteiny mají důležitou roli v metabolismu cholesterolu, správná funkce zajišťuje optimální bilanci cholesterolu a brání jeho hromadění v tkáních [29].

2.2 Stárnutí olejů

2.2.1 Změny během skladování

Každý olej má charakteristické aroma, chuť, barvu i specifické nutriční vlastnosti a všechny vlastnosti se během skladování mění. Změny můžeme ovlivnit nebo zpomalit vhodným skladováním, vhodně použitým obalovaným materiálem, správným způsobem uchování a zamezení přístupu světla [30].

Ke změnám během skladování dochází kromě na lipidech a mastných kyselinách i na minoritních složkách tuků a olejů. Po celou dobu skladování dochází k degradaci chlorofylů, karotenoidů, fenolů a rostlinných sterolů, které snižují riziko kardiovaskulárního onemocnění. Mezi hlavní rostlinné steroly se řadí fytosteroly. Nejvýznamnější zástupci fytosterolů jsou například kampesterol, stigmasterol a sitosterol. Fytosteroly jsou důležité pro lidské zdraví a jsou velmi dobře tepelně stabilní. Na oxidační a polymerační produkty se přeměňují až při dosažení 190 °C, a to jen přibližně z 50 %. Přirozeně se fytosteroly vyskytují především ve slunečnicovém, řepkovém a sójovém oleji.

Hlavní příčinou zhoršení jakosti během skladování je autooxidace. Autooxidace závisí na složení oleje, chemické struktuře, obsahu minoritních a polyfenolických látek (minerální látky, chlorofyly, karotenoidy a tokoferoly). Nenasycené řetězce mastných kyselin mohou při reakci s kyslíkem způsobovat vznik oxidačních produktů, které jsou zodpovědné za žluknutí tuků [30,31,32].

2.2.2 Změny olejů při tepelné úpravě

Všechny oleje jsou v podstatě odolné vůči teplu. Podstatná je použitá teplota, která by neměla překročit 160 °C, a času působení tepla. Nejlépe se na tepelné úpravy hodí tuky a oleje, které obsahují vyšší podíl nasycených a jednoduchých nenasycených mastných kyselin. Oleje, které obsahují vysoké množství polyenových mastných kyselin (např. lněný olej), se využívají především ve studené kuchyni a nazývají se tzv. salátové oleje. Pro smažení se využívají oleje se zvýšenou oxidační stabilitou [33].

Teplota zakouření neboli kouřový bod je nejnižší teplota, při které dochází k pyrolýze tuku a nad zahříváním tukem se začínají tvořit degradační produkty. Teplota zakouření závisí na obsahu volných mastných kyselin, přítomných v tucích a olejích [34].

Akrolein (prop-2-enal), vznikající při tepelném záhřevu, způsobuje štiplavost kouře. Akrolein vzniká zahříváním glycerolu, přítomného v tucích, je používán jako pesticid a byl využíván jako součást bojových plynů. U akroleinu byly prokázány karcinogenní účinky a způsobuje přirozené hořknutí vína [35].

Tabulka 12 Kouřové body vybraných olejů a tuků [36]

Druh tuku nebo oleje	Kouřový bod
Slunečnicový olej nerafinovaný	160 °C
Slunečnicový olej rafinovaný	232 °C
Řepkový olej nerafinovaný	107 °C
Řepkový olej rafinovaný	245 °C
Extra panenský olivový olej	160-207 °C – dle kvality
Panenský olivový olej	216 °C
Olivový olej z výlisků	238 °C
Vepřové sádlo	182 °C
Máslo	177 °C

Převzato od: Chu M., (2004) *Smoke Points of Various Fats*

Při fritování je důležitá dlouhodobá oxidační stabilita olejů, jelikož se používají opakovaně a je vhodné používat při smažení a fritování rafinované oleje. Extra panenské a panenské olivové oleje lze také použít pro krátkodobé smažení, ovšem při vyšších teplotách ztrácí tyto oleje charakteristikou chuť a klesá kvalita, která se podobá olivovým olejům z pokrutin [35,37].

2.2.3 Změny při smažení

Tuky a oleje po smažení téměř nevykazují akutní toxicitu, ale z dlouhodobého hlediska vykazují oxidované a tepelně namáhané tuky a oleje spoustu negativních efektů. Bylo prokázáno snížení rychlosti růstu pokusných zvířat a nárůst hmotnosti ledvin a jater, poškození a ztučnění jater, patologické změny srdečního svalu, vyšší krevní tlak, zrychlení vzniku aterosklerotických změn a vyšší nárůst nádorů a další. Nejvýznamnějším projevem příjmu smažených tuků a olejů je zvýšen oxidativního stresu v trávicím traktu. Oxidativní lipidy způsobují ztráty antioxidantů, tím se zabrání ochrana DNA vůči hydroxylových radikálů pocházející z jiných zdrojů [38].

Oxidativní reakce se podílejí na vzniku některých chorob, zejména potom na choroby kardiovaskulární a nádorové a mohou být spouštěčem i některých neurodegenerativních chorob.

Primárním kardiovaskulárním onemocněním je ateroskleróza, na jejím vzniku se významně podílí oxidace LDL lipoproteinů. Oxidace lipoproteinů zahrnuje kromě poškození lipidů také změny bílkovin vyvolané vazbou aldehydů na tyto bílkoviny. Obsah oxidovaných lipoproteinů v krevním oběhu je shodný s obsahem lipoproteinů ve stravě. Příjem oxidovaných lipidů zvyšuje výskyt tukových lézí v aortě [38,39].

Oxidační produkty lipidů mohou iniciovat nádorové změny a další projevy mutagenese, například embryonální malformaci. Bylo prokázáno, že konzumace smažených potravin zvyšuje u lidí riziko nádoru tlustého střeva [39].

2.2.4 Toxicita vybraných látek vnikajících v olejích a tucích při smažení

Oxidace tokoferolů a dalších antioxidantů, vede především ke ztrátám vitamínu E a snižování celkové antioxidační aktivity. Řada rizikových látek vzniká oxidací sterolů, především pak cholesterolu. Látky, které vznikají hydrolýzou triacylglycerolů, jsou především volné mastné kyseliny, monoacylglyceroly a diacylglyceroly. V neposlední řadě vznikají také *trans*-mastné kyseliny, jejich obsah je však zanedbatelný ve srovnání s obsahem v částečně ztužených olejích a tucích. Mezi látky, které se vytváří během smažení řadíme: hydroperoxydy, polymery, cyklické mastné kyseliny, aldehydy a aldehydokyseliny [40].

Hydroperoxydy

Hydroperoxydy se prakticky nepovažují za rizikovou skupinu, jelikož za teplot smažení se rychle rozkládají na další složky. Hydroperoxydy jsou vysoce toxické, pokud jsou podány intravenózně, ale v případně orálního podání jsou prakticky neškodné, jelikož jsou v trávicím traktu (žaludku) působením selenu přeměněny na jiné látky. V některých případech jsou ale hydroperoxydy v trávicím traktu přeměněny na mnohem reaktivnější látky, například na epoxidy a aldehydy. Pokud se hydroperoxydy v trávicím traktu nepřemění na jiné látky mohou atakovat žaludeční stěnu [40,41].

Polymerní lipidy

Vzhledem k poměrně malé vstřebatelnosti polymerních lipidů v trávicím traktu jsou považovány za látky s malým zdravotním rizikem. Při konzumaci oxidovaných olejů a tuků přechází 50 % cyklických mastných kyselin do lymfatického systému. U polymerních mastných kyselin je tato vstřebatelnost zhruba 10 %. Výzkumy neprokazují po podání laboratorním zvířatům žádné dramatické symptomy. Symptomy se objevovaly až po extrémně vysokých dávkách, a to snížení vstřebávání živin. Pokud jsou ovšem na polymerní triacylglyceroly navázány i oxidované mastné kyseliny, ty se dostávají do tlustého střeva a mohou se podílet na nádorovém bujení [40,42].

Cyklické mastné kyseliny

Představují poměrně širokou skupinu látek, které vznikají během smažení i při dalších operacích spojených se záhřevem olejů, například deodoraci. Cyklizaci podléhají především polynenasycené mastné kyseliny. Cyklické mastné kyseliny, jak bylo řečeno v předchozí kapitole, se velmi dobře vstřebávají v trávicím traktu. V případě, že se jedná o neoxidované mastné kyseliny je největší riziko zabudování do membrán a tkání, a to včetně do srdečního svalu. Rizikové jsou především 5-ti členné cykly, 6-ti členné cykly poměrně snadno vstupují do detoxikačních mechanismů a jsou rychle vylučovány. Další faktory ovlivňující toxicitu těchto látek je například konfigurace přítomných vazeb [42].

Aldehydy a aldehydokyseliny

Aldehydy a aldehydokyseliny se snadno vstřebávají v trávicím traktu a způsobují řadu negativních efektů. Jejich schopnost reagovat s proteiny způsobují poškození jater, ledvin a dalších orgánů [40].

Rozklad hydroperoxidů kyseliny linolové představuje jeden z nejtěkavějších oxidačních produktů přítomných ve smažicích potravinách a také vykazuje významnou toxicitu. Spolu s malondialdehydem a dalšími oxidačními produkty lipidů je schopna modifikovat LDL lipoproteiny a zvyšovat tím riziko vzniku aterosklerózy, narušuje mezibuněčnou komunikaci, a tím vytváří podmínky pro nekontrolovatelné buněčné dělení. V řadě testů bylo potvrzeno, že hydroxynonenal vykazuje i mutagenní vlastnosti. Nízkomolekulární aldehydy při smažení těkají a podléhají další reakcím, což představuje riziko pro obsluhující personál, u kterého se může zvyšovat výskyt nádoru plic [42].

Netěkavé oxidační produkty lipidů však představují větší riziko, obzvláště aldehydokyseliny, které také vznikají rozkladem hydroperoxidů. Nejvýznamnějším zástupcem je

9-oxononanová kyselina vzniklá rozkladem hydroperoxidů kyseliny linolové. Tyto látky se také velmi dobře vstřebávají a mají mutagenní a karcinogenní účinky [42].

2.2.5 Žluknutí tuků

Žluknutí tuků se dělí do 4 skupin:

- Hydrolytické
- Oxidační
- Ketonové
- Chuťová reverze

Do tuků jsou záměrně přidávány antioxidanty, aby bylo co nejvíce zabráněno oxidačním reakcím nenasycených mastných kyselin, největší význam mají tokoferoly.

Hydrolyza je převážně způsobena působením mikrobiálních lipáz. Počet mikroorganismů postupem žluknutí klesá, žluklý tuk tedy může být zcela sterilní. Hydrolyzou vznikají mastné kyseliny s kratším řetězcem. Mastné kyseliny o 6-8 uhlíku uhlícih značně narušují chuť i vůni tuku [43].

Hydrolytická hydrolyza se dělí od oxidace tvorbou kyselin a aldehydů, pro oxidaci je typický vznik peroxidů, které mají značný vliv na senzorickou jakost.

Ketonové žluknutí je typické pro máslo. U ketonového žluknutí vznikají metylketony, které jsou charakteristické velmi netypickou parfémovou příchutí [44].

Chuťová reverze se projevuje u olejů s nízkým obsahem hydroperoxidů mastných kyselin a je pro ni typická chuť po trávě a fazolích. Této vady je možné zbavit se rafinací oleje, ovšem tato vada se po čase zase vrátí, proto název reverze [45].

Kvalitativní zkoušky:

Číslo kyselosti

Číslo kyselosti je ukazatelem obsahu volných mastných kyselin ve vzorku. Princip stanovení spočívá v rozpuštění vzorku v nepolárním rozpouštědle (směs etanolu a dietyleru) a následně je vzorek titrován etanolickým roztokem hydroxidu draselného na indikátor s intervalem přechodu v mírně alkalické oblasti. V případě velmi tmavého vzorku lze možné využít potenciometrii. Číslo kyselosti se vyjadřuje jako množství hydroxidu draselného v miligramech, který je potřeba k neutralizaci 1 gramu vzorku [27].

Peroxidové číslo

Peroxidové číslo udává množství aktivního kyslíku v mikrogramech obsažené v peroxidové formě v 1 g tuku. Přesné množství vzorku se rozpustí ve směsi chloroformu a kyseliny octové, přidá se nasycený roztok jodidu draselného. Po jedné minutě míchání se ke směsi přidá voda a směs se thiosíranem sodným titruje do odbarvení [27].

3 ZÍSKÁVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ OLEJŮ

Rostlinné tuky a oleje se získávají buď z dužin plodů (např. olivy) nebo se semen (např. slunečnice). Rostliny pro výrobu oleje se nazývají olejniny, podle druhů olejin se výrazně liší chemické a fyzikální vlastnosti jednotlivých druhů olejů a tuků [33].

3.1 Úprava semen

Úprava semen je závislá na typu olejniny, ze které je olej získáván a patří sem následující operace:

Sušení

Cílem sušení je snížit obsah přebytečné vody pod kritickou hodnotu, která se liší podle typu olejniny. Kritické hodnoty se pohybují v rozmezí od 7-13 %. Důvodem sušení je zajištění nezávadnosti při skladování, jelikož by mohlo dojít k zapaření a znehodnocení suroviny. Při sušení hrozí nebezpečí oxidace, denaturace bílkovin a lipoproteinů, z toho důvodu se při sušení používají nízké teploty. Teplota závisí na použité surovině, ale zpravidla nepřekračuje 90 °C. Při sušení se nejčastěji využívají věžové sušárny [46].

Čištění plodů a semen

Cílem čištění je odstranit z olejin nečistoty anorganického i organického původu. Nečistoty způsobují poruchy na technickém zařízení při zpracování semen a plodů, a dále také snižují kvalitu pokrutin. Pro čištění se využívají buď síta různé velikosti nebo aspirátory [46,47].

Sítové čističky jsou různého uspořádání: třasadla, vibrační nebo rotační síta. Jedná se o soustavu sít o různé velikosti umístěné nad sebou.

Aspirátory jsou vzduchové čistící stroje. Čištění je založeno na proudění vzduchu na základě rozdílné hustoty semen [48].

Odslupkování

Odstranění slupek se provádí pro usnadnění zpracování, zejména pro zvýšení výtěžnosti oleje při lisování. Po odslupkování zůstává zhruba 5 % semen neodslupkovaná. Slunečnicová a řepková semena se v současné době v Evropě již neodslupkovávají [46,48].

Mletí a drcení

Drcením a mletím semen docílíme rozrušení rostlinných pletiv, narušení buněčných stěn a tím usnadnění izolaci oleje. Dále se zvětšuje povrch olejin a tím se usnadňuje a zvyšuje výtěžnost extrakce. Při správném procesu mletí a drcení by měl olej volně vytékat ze semen. Pro drcení se využívají buď válcové stroje nebo mlýny (nárazové, kotoučové, kladivové nebo desintegrátory) [48].

Klimatizace

Poslední operací před samotným získáváním oleje je klimatizace, která je založena na kondicionování rozemletých olejnatých semen po určitou dobu při určité vlhkosti. Klimatizace má velký vliv na kvalitu konečného produktu, tedy oleje. Při procesu kondicionování dochází k chemickým a fyzikálním změnám. Klimatizace olejin má dvě fáze. První fází je hydratace buněčné stěny optimálním množstvím vody, kdy dojde k nabobtnání a prasknutí. Druhou fází je snižování vlhkosti, aby byl zajištěn maximální výtěžek při lisování [26,48].

3.2 Izolace

Při získávání oleje z olejin se využívají dva postupy, a to lisování a extrakce.

Lisování

Lisování je založeno na působení tlaku na předem upravenou surovinu. Lisování se dělí na nízkotlaké neboli předlisování, a vysokotlaké podle výše použitého tlaku. Dnes se k lisování využívají především šnekové lisy. Pro lisování je velmi důležitá jemnost mletí a proces klimatizace. Jemnost drcení či mletí zvyšuje uvolňování oleje, což je velmi důležité při lisování. Způsob lisování také velmi ovlivňuje rychlost otáček lisu, tlak a teplota lisování. Olej po lisování obsahuje kolem 10 % nečistot, které jsou odstraňovány diskontinuální filtrací na kalolisech nebo kontinuálně na odstředivkách [26,49].

Extrakce

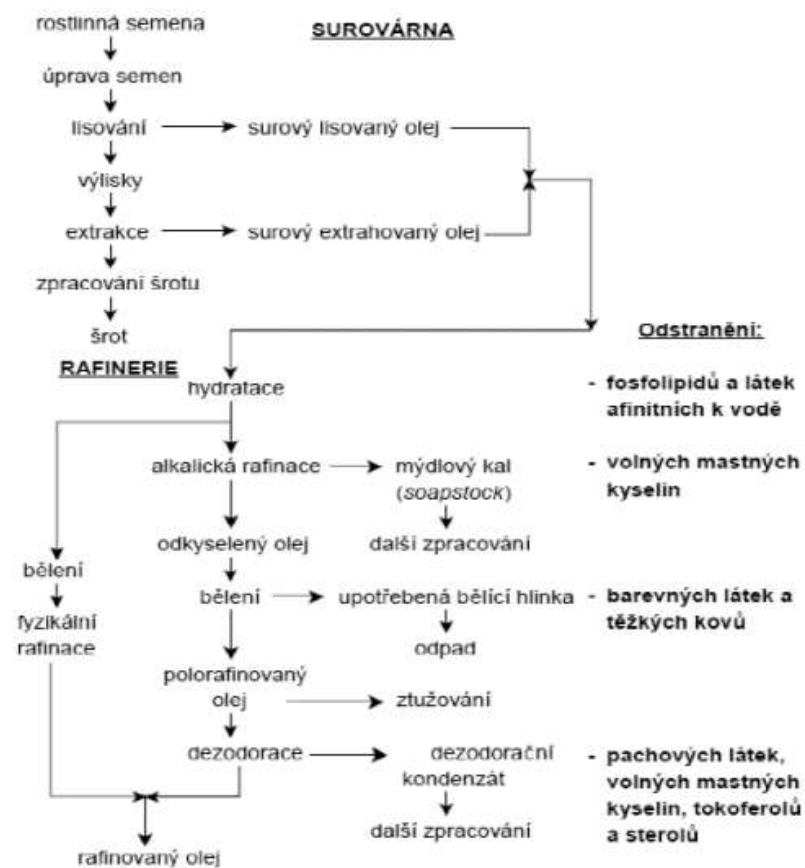
Důležitým faktorem pro získávání olejů je volba vhodného rozpouštědla. Vlastnosti, které by mělo mít vhodné rozpouštědlo jsou například: dobrá rozpustnost pro tuky a oleje, minimální rozpustnost ve vodě, nemělo by reagovat s žádnou součástí olejiny a jiné. Nejčastěji se k extrakci používá n-hexan, etanol a extrakční benzín. Technologie extrakce je založena na rozpustnosti určité látky v rozpouštědle, které je ze systému následně odděleno odparkami [49].

3.3 Rafinace

Surové oleje a tuky obsahují řadu látek, které je nutné odstranit. Látky obsažené v surových olejích lze dělit do dvou skupin na rozpustné a nerozpustné v tucích. Mezi rozpustné látky se řadí volné mastné kyseliny, lipoproteiny, fosfolipidy, uhlovodíky a také řada pesticidů. Mezi nerozpustné látky řadíme mechanické nečistoty, bílkoviny, sacharidy a anorganické látky. Účelem rafinace je odstranění látek, které zhoršují trvanlivost, vůni, chuť a další vlastnosti. Olej po rafinaci by měl mít neutrální chuť, přitažlivý vzhled, měl by být odolný proti oxidaci a být zbaven nežádoucích látek. Přehled operací, které probíhají při rafinaci a látky, které jsou odstraněny v jednotlivých krocích rafinace jsou uvedeny v tabulce číslo 13 [50].

Tabulka 13 Kroky rafinace olejů [48,49,50]

Kroky rafinace	Odstraněné látky
Odslizování	Slizy, bílkoviny, fosfolipidy
Odkyselování (neutralizace)	Volné mastné kyseliny, oxidační produkty, aflatoxiny atd.
Bělení	Barviva, mýdla
Deodorace	Volné mastné kyseliny, oxidační produkty, vonné látky



Obrázek 1 Schéma výroby olejů [51]

3.4 Výroba panenského a extra panenského olivového oleje

Výroba olivového oleje probíhá v pěti krocích: vypěstování olivovníků, sběr oliv, zpracování oliv, skladování olivového oleje, balení a následná distribuce. Olivy se sklízí buď v plné zralosti (černé olivy) nebo ještě nezralé (zelené olivy). Sklizeň musí probíhat s minimálním poškozením [33].

Jeden litr olivového oleje je vyráběn přibližně z 5 kilogramů oliv. Sběr v dnešní době probíhá převážně mechanicky, pomocí automatických strojů pracujících na principu vibrací. Kleště uchytí jednotlivé větvičky a pomocí vibrací padají olivy do záchytných nádob. Ruční sběr je nejšetrnější, ovšem v dnešní době se už moc nevyužívá. Po sklizni jsou olivy čištěny a zbaveny příměsí a nečistot a následně jsou uskladněny za definovaných podmínek. Olivy se zpracovávají do 24 hodin po sběru, kvůli zajištění optimální kvality olivového oleje. Velmi důležitá je teplota skladování, aby nedocházelo k fermentaci nebo zvyšování kyselosti oliv, působením lipolytických enzymů za vzniku mastných kyselin [33,52].

Dalším krokem je drcení oliv na pastu na kamenných mlýnech nebo drtičkách. Účelem drcení je zlepšení výtěžnosti při lisování narušením struktury plodu a částečného narušení buněk a tím uvolnění oleje uloženého ve formě kapének v plodu olivy. Pasta získaná drcením se 30-60 minut míchá (teplota 26,6-30 °C), aby došlo k co největšímu uvolnění oleje z plodu a oddělení oleje od vody obsažené v plodech [52].

Drcená pasta se lisuje vyvíjeným tlakem a směs vody a oleje vytéká z lisu. Voda obsažená v oleji se odstraňuje dekantací pomocí odstředivek. Lisování probíhá buď kontinuálním (pomocí odstředivky) nebo diskontinuálním procesem, ve kterém se po lisování oddělí olej a voda na základě odlišných hustot. U výroby extra panenských olivových olejů ve velmi důležitá teplota, při překročení teploty by mohl olej degradovat a snížit tak kvalitu výsledného oleje [52].

Získaný olej se skladuje v nerezových tancích při 15-18 °C jeden až tři měsíce, v temnu. Během tohoto času dochází k sedimentaci částic a odstranění zbytku vody z oleje. Olej je následně filtrován a plněn do spotřebitelských lahví [52].

3.5 Výroba olejů ze semen

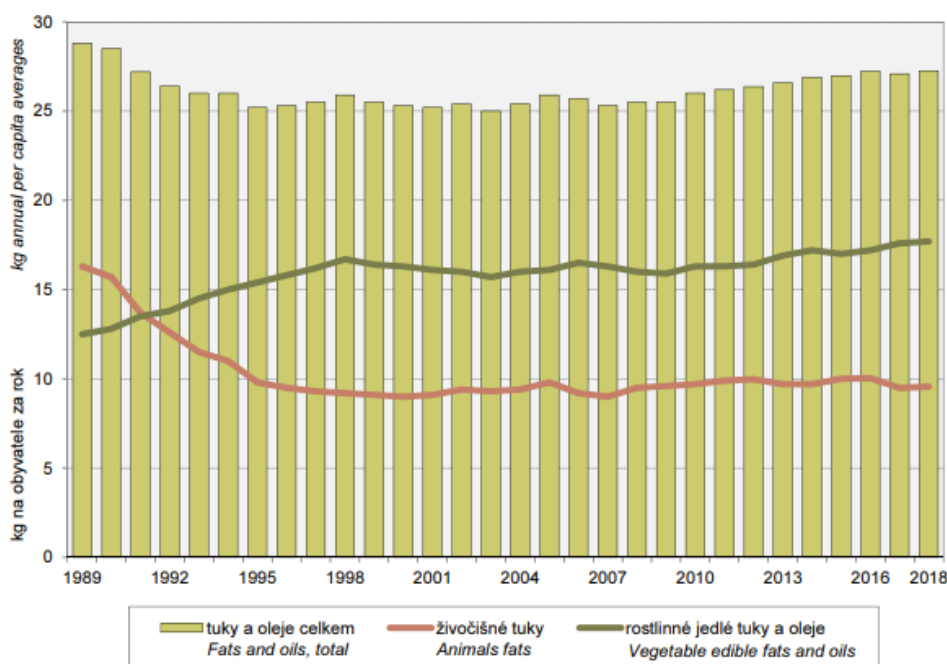
Získávání oleje ze semen začíná dezintegrací pomocí mlecí stolice (horizontální nebo diagonální). Dalším krokem je klimatizace, která má také vliv na kvalitu a výtěžnost olejů. Při klimatizaci dochází k úpravě vlhkosti a teploty. Nahříváním rozdrcených semen se zvyšuje viskozita oleje a usnadňuje se lisování. Po klimatizaci dochází k lisování oleje ve šnekových lisech. Tím získáme tzv. předlisy a olej v semenech se sníží na 15-20 %. K dalšímu snížení oleje v semenech se nejčastěji využívá extrakce. Cílem extrakce je získat co nejvíce oleje pomocí vhodných rozpouštědel, nejčastěji hexanem při teplotě kolem 45-55 °C. Šrot po extrakci se následně zpracovává do krmných směsí. Po extrakci probíhá rafinace, plnění do spotřebitelských balení a distribuce [16,48].

4 PRODUKCE A SPOTŘEBA OLEJŮ A OLEJNIN, LEGISLATIVA

Spotřeba potravin závisí na mnoha faktorech: finanční příjmy spotřebitelů, ceny, dostupnost potravin v závislosti na tuzemské zemědělské a průmyslové výrobě, tradice, sociálně-ekonomické změny, ceny potravin a další. Spotřeba jednotlivých potravin v čase mění [53].

4.1 Spotřeba tuků a olejů v České republice

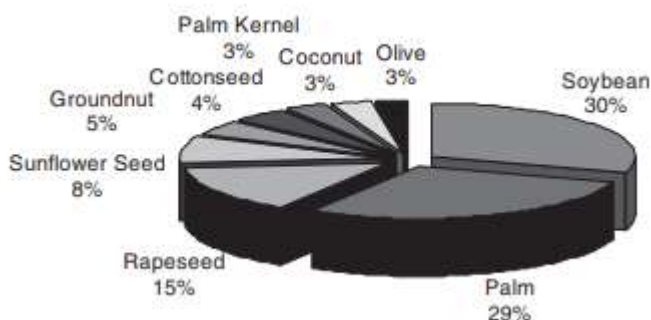
Průběh spotřeby olejů a tuků v České republice je ukázáno na obrázku č. 2.



Obrázek 2 Spotřeba tuků a olejů [53]

Z grafu je patrné, že celková spotřeba olejů a tuků dosahovala v roce 1989 vrcholu. Od této doby spotřeba mírně klesala. Od roku 2009 začala spotřeba opět mírně vzrůstat a v posledních letech se drží na hodnotě přibližně okolo 27 kg na obyvatele za rok. Z grafu je dále patrné, že v roce 1989 byla větší spotřeba živočišných tuků, a to více než 15 kg na obyvatele za rok. V dalších letech spotřeba živočišných tuků klesala a nyní se pohybuje okolo 10 kg na obyvatele za rok. Naopak spotřeba rostlinných tuků od roku 1989 vzrostla. V roce 2018 se hodnota pohybovala okolo 18 kg na osobu a rok [53].

4.2 Spotřeba olejů



Obrázek 3 Světová spotřeba jednotlivých druhů olejů [54]

Z grafu je patrné, že největší podíl ve světové produkci je sójový olej (30 %) a palmový olej (29 %). Poměrně výrazný podíl zastává i řepkový olej (15 %) a slunečnicový olej (8 %). Další druhy olejin, například olivový a oleje vyrobené z různých druhů olejin se podílejí na celkové spotřebě olejů jen minoritně [54].

4.3 Spotřeba olejin

Tabulka 14 Produkce olejin milionech tun v Evropě [55]

Druh olejin	Produkce oleje (mil. tun)
Sója	2,737
Řepka	19,778
Slunečnice	9,603
Bavlna	0,535
Lněné semínko	0,134

V roce 2018 dosáhla celková produkce olejin v Evropě 32,787 milionů tun. Z toho více jak polovinu tvoří produkce řepky. Nejvíce řepky vyprodukovala Francie (4,935 mil. tun), Nejvíce slunečnice bylo vyprodukováno v Rumunsku (2,884 mil. tun). Sója byla nejvíce produkována v Itálii (1,135 mil. tun). Největší producent lněných semínek je Velká Británie (47 tis. tun) [55].

4.4 Legislativa

Pojmy související s olejnými semeny, jako je členění, označování a požadavky na jakost a skladování, jsou uvedeny ve vyhlášce ministerstva zemědělství č. 329/1997 Sb., která definuje škrob a výrobky ze škrobu, luštěniny a olejnata semena v platném znění [56].

Tato vyhláška definuje:

- a. Olejnata semena, jako čistá, suchá a tříděná semena olejin neloupaná a loupaná a určená pro přímou spotřebu.
- b. Příměsi jako semena mechanicky poškozená, zlomky semen, semena nevyzrálá a nevyvinutá, semena se znaky klíčení, zapařená semena nebo semena připálená se změnou barvou slupky, ale s neporušeným jádrem.
- c. Nečistoty jako semena zapařená nebo připálená, semena se změnou barvou slupky a s částečně porušeným jádrem, semena bez jader, semena jiných rostlin a tobolek, úbory, slupky, stonky, listy nebo jejich části.
- d. Anorganické nečistoty jako prach, písek, zemina, kaménky, skleněné nebo kovové částice.[56]

Vyhláška Ministerstva zemědělství číslo 397/2015 Sb. Definuje pojmy týkající se mléka a mléčných výrobků, mražených krémů a jedlých tuků a olejů [57].

Tato vyhláška definuje:

- a. Jedlý tuk a olej, jako směs smíšených triacylglycerolů, které se v závislosti na poměrném zastoupení mastných kyselin v triacylglycerolu vyskytují za běžných podmínek v tekutém stavu.
- b. Rostlinný tuk a olej, jako jedlý tuk získaný ze semen, plodů nebo jader plodů olejnatých rostlin.
- c. Živočišný tuk a olej, jako jedlý tuk získaný z požitelných tukových tkání živočichů za podmínek stanovených veterinárním zákonem a nařízením, kterým se stanoví zvláštní hygienická pravidla pro potraviny živočišného původu.
- d. Ztužený tuk, jako jedlý tuk, který byl získán ztužením rostlinných nebo živočišných tuků a olejů nebo jejich směsí.
- e. Olej lisovaný za studena, jako olej, který byl získán pouze mechanickými postupy vytluhování nebo lisování bez tepelného zahřevu, které nevedou ke změnám

charakteru oleje a pro jeho vyčištění se používá pouze promývání vodou, usazování, filtrování a odstředování [57].

5 VYBRANÉ METODY ANALÝZY TUKŮ A OLEJŮ

5.1 Plynová chromatografie

Plynová chromatografie je analyticko-separační metoda umožňující dělení a stanovení plynů, kapalin a pevných látek, které jdou za definovaných podmínek převést na plynné skupenství. Plynová chromatografie je složená ze dvou fází, pohyblivou (mobilní) a stacionární [58].

Mobilní fáze je v plynové chromatografii plyn, nazýván jako nosný plyn a stacionární fáze je umístěna v chromatografické koloně. Stacionární fáze může být buď pevná látka (například silikagel, aktivní uhlí, polymery a další) nebo vysokovroucí kapalina nanesená na pevném nosiči. Stacionární fáze u kapilárních kolon je v tenké vrstvě nanese na vnitřní strany kapiláry [58].

Princip plynové chromatografie spočívá v následujících krocích. Kolonou stále probíhá nosný plyn, po nástřiku vzorku do vyhřívacího bloku (injektoru) se vzorek odpaří a je unášen nosným plynem do kolony. Na začátku kolony ve stacionární fázi se složky ze vzorku sorbují a následně desorbují čerstvě přítomným nosným plynem. Složky vzorku jsou nosným plynem unášeny na konec kolony a tento dělicí proces se neustále opakuje. Jednotlivé složky vzorku postupují kolonou vlastní rychlostí a následně vystupují z kolony do detektoru v závislosti na distribuční konstantě ($K_D = c_s/c_m$; kde c_m a c_s jsou rovnovážné konstanty v mobilní a stacionární fázi). Detektor ihned zaznamená koncentraci separované látky v nosném plynu, signál detektoru je vhodně upraven a zaznamenán do grafického záznamu v podobě jednotlivých píků. Tento grafický záznam se nazývá chromatogram a metoda se označuje jako eluční. Chromatografický pík má tvar Gaussovy křivky (na ose y odezva detektoru, na ose x čas) a je popsán následujícími parametry: [58,59].

Retenčním časem (t_R), který znázorňuje dobu průchodu kolonou neboli dobu od nástřiku vzorku po detekci na detektoru.

Retenční objem (V_R), udává objem nosného plynu, který prošel kolonou za dobu t_R při zadaném průtokovém objemu nosného plynu [59].

Kvalitativní analýza

Kvalitativní analýza umožňuje identifikaci látek ve vzorku, tedy zjistit z jakých látek se vzorek skládá. Identifikace vzorků probíhá na základě shody retenčního času neznámé látky

a standartu. Důležitým faktorem pro stanovení je zachování stejných experimentálních podmínek pro stanovení standartu a vzorku. [59,60].

Kvantitativní analýza

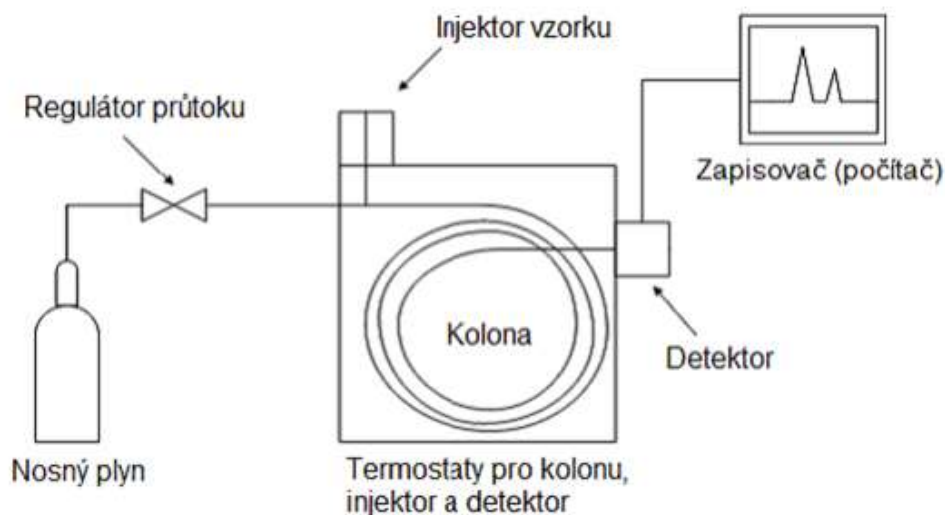
Kvalitativní analýzou lze stanovit množství nebo koncentraci určité látky ve vzorku. Detektory zaznamenávají okamžitou koncentraci látky na výstupu z kolony, celkové množství látky je úměrné ploše píku. Vztah mezi plochou píku a koncentrací látky ve vzorku se vyjadřují lineární závislostí. Pro kvantitativní stanovení se využívají metody:

Metoda vnějšího standartu, která je založena na přidání známého množství – vnitřního standartu – ke vzorku.

Metoda vnitřního standartu je založena na přidavku látky, která neinterferuje s ostatními píky ve vzorku a má přibližně stejnou odezvu. U této metody je výhoda, že není potřeba kontrolovat množství přidané látky do vzorku [59,60].

5.2 Plynový chromatograf

Na obrázku č. 4 je znázorněno schéma plynového chromatografu. Plynový chromatograf se skládá z následujících částí: nosný plyn, regulátor průtoku, injektor, kolona, termostát, detektor, počítač [58].



Obrázek 4 Schéma plynového chromatografu [61]

Nosný plyn

V plynové chromatografii je nosný plyn mobilní fází. Nejčastěji se využívají helium, vodík, dusík, argon. Nosný plyn se neúčastní slabých interakcí s analytem. Volba vhodného nosného plynu je ovlivněno viskozitou, účinností, čistotou, reaktivitou a cenou plynu. Problémem nosných plynů je jejich čistota, respektive přítomnost nečistot, které interagují s analytem nebo stacionární fází. Nečistoty, které způsobují největší potíže, jsou vodní pára a kyslík. Vlhkost a nečistoty obsažené v nosném plynu se odstraňují čistícím zařízením, které je umístěno za zdrojem nosného plynu [58].

Regulátor průtoku

Regulátor průtoku je elektronické zařízení sloužící k průtoku a tlaku nosného plynu. Tohle zařízení zajišťuje konstantní průtok plynu s detektorem bez ohledu na typ plynu, rozměr a teplotu kolony. Tlak se nastavuje automaticky podle viskozity plynu, průměru a délky kolony. Tlak je tedy proměnlivou veličinou a zajišťuje se, aby byl po celou dobu konstantní [58,59].

Injektor

Pomocí injektoru je aplikován vzorek do plynového chromatografu. Nástřík probíhá pomocí speciální injekční stříkačky přes septum, které odděluje vnitřek injektoru od vnějšího okolí. Skleněná složka v injektoru umožňuje odpaření a promíchání vzorku s nosným plynem, za pomoci vysoké teploty. Mezi kolonou a injektorem se nachází dělič toku neboli splitter, který umožňuje vést jen část odpařeného vzorku na kolonu. Injektor musí splňovat:

- Vzorek musí na kolonu vstupovat v co nejmenším objemu
- Během odpaření nesmí v injektoru dojít k rozkladu vzorku
- Plocha signálu vzorku nesmí být rušena přítomností rozpouštědla [58].

Existují dva způsoby nástříku

Splittování, což je technika, při které je vzorek společně s nosným plynem v injektoru rozdělen na dvě různé části. Na kolonu vstupuje menší část, větší část je odpadní a odchází do odpadu.

Při nástříku **bez splittu** se celý objem injektoru nastříkne přímo do kolony, aniž by se předem rozdělil. Tato metoda se využívá při stanovení stopové analýzy nebo při analýze směsi látek, které se výrazně liší bodem varu [58,59].

Kolona

Kolona je temperována na určitou teplotu a je umístěna v peci. Teplota v koloně se liší podle předem vytvořeného teplotního programu. Rozlišuje mezi izotermní analýzou, při které je po celou dobu analýzy teplota konstantní, a teplotním gradientem. Teplotní gradient se využívá pro vícesložkové směsi s rozdílnými body varu. Při využití teplotního gradientu je výhoda vyšší citlivost (zlepšení tvaru chromatografických píků) a zkrácení doby analýzy. Využívají se dva typy kolon nástříková a kapilární [59].

Nástříková kolona

Jedná se o trubice naplněné sorbenty nebo nosiči se zakotvenou kapalnou fází. Kolony jsou většinou vyrobeny ze skla nebo z oceli. Délka kolony je nejvíce 4 m a průměr od 2 do 4 mm. Jako sorbenty jsou využívány například silikagel nebo oxid hlinitý. Mobilní fáze jsou na bázi oxidu křemičitého. Náplňové kolony jsou výkonnější než kapilární [58].

Kapilární kolony

Materiál pro výrobu kapilárních kolon je křemenné sklo nebo ocel, kvůli pevnosti jsou potaženy filmem polyimidu. Délka kolony se může pohybovat od desítek až stovek metrů (nejčastěji používaná délka 30 m), vnitřní průměr dosahuje 0,2 až 0,75 mm. V kapilárních kolonách je stacionární fáze umístěna na vnitřní straně kapiláry [59].

Příklady adsorbentů a jejich využití:

Aktivní uhlí – dělení plynů a uhlovodíků

Silikagel – dělení nízkovroucích kapalin a anorganických plynů

Krystalické hlinitokřemičitany – dělení plynů a uhlovodíků

Porézní polymery (parapaky) – dělení nízkomolekulárních uhlovodíků, anorganických plynů, alkoholů, ketonů a esterů [58].

Příklady kapalných stacionárních fází:

Mezi polární stacionární fáze Carbowaxy a Ucony (polyetylglycoly) a polyestery (sukcináty). Polysiloxany (např. metylpolysiloxan SE-30) jsou velmi často používané, které mají široké použití polarity [59].

5.3 Detektory využívané v plynové chromatografii

Jedná se o zařízení vysílající signály v přítomnosti složky v nosném plynu. Princip spočívá v měření určité vlastnosti plynu vycházející z kolony, který má vztah ke koncentraci a druhu složek ve vzorku. Detektor musí mít vysokou citlivost, aby byl schopný zaznamenat složky v co nejnižší koncentraci. Teplota v detektoru je vyšší než plynu vycházejícího z kolony, tím se zabrání kondenzaci látek na stěnách detektoru. Nejvíce využívané detektory jsou: [58,59]

5.3.1 Hmotnostní spektrometr (MS)

Princip hmotnostního spektrometru spočívá v ionizaci neutrálního atomu nebo molekuly za vzniku iontů a jejich fragmentů. Jednotlivé ionty a fragmenty jsou separovány a detekovány v poměru m/z (m -hmotnost iontů; z -náboj iontu). Spojení plynové chromatografie s hmotnostním spektrometrem se využívá při detekci neznámých složek ve směsi. Látky se identifikují na základě porovnání hmotnostního spektra, které je získáno při analýze, s hmotnostním spektrem z knihovny spekter [58,60].

5.3.2 Plamenový ionizační detektor (FID)

Plamenový ionizační detektor je jeden z nepoužívanějších. Skládá se z ocelové trysky, do níž vstupuje nosný plyn, doplňkové plyny a vodík. V proudu vzduchu dochází na mikrohořáku ke spálení směsi na ionty. Tyto ionty jsou sbírány na polarizovaných elektrodách a generují proud, který se zesiluje a zapisuje. Plamenový ionizační detektor poskytuje odezvu téměř všechny organické látky. U detekci uhlovodíků je například odezva úměrná počtu atomů uhlíků v molekule. Z organických látek na FID nelze detekovat kyselinu mravenčí a formaldehyd, dále se také nedají detekovat látky anorganického původu [58].

5.3.3 Tepelně vodivostní detektor (TCD)

Velkou výhodou tohoto detektoru je jeho univerzálnost. Přes vlákno vyhřívané elektrickým proudem proudí nosný plyn a ochlazuje ho. Vlákno změní svou teplotu tím, že přítomnost složky změní tepelnou vodivost prostředí. TCD pracuje se dvěma vlákny, přes jedno vlákno proudí nosný plyn a přes druhé plyn z kolony a porovnávají se jejich elektrické odpory. Velmi důležitá je volba nosného plynu, jehož tepelná vodivost se musí co nejvíce odlišovat od tepelné vodivosti analyzovaného vzorku. Jako nosný plyn se tedy upřednostňuje vodík a hélium. Na rozdíl od předchozího detektoru se TCD využívá pro analýzu anorganických a nízkomolekulárních organických látek [58].

5.4 Diferenční skenovací kalorimetrie

Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) se řadí mezi termické analýzy. Tato metoda je založena na pozorování změn chemických a fyzikálních vlastností látek při změnách teploty (ohřevu a chlazení). Principem této metody jsou dva lineárně vyhřívané termostaty, jeden obsahuje mističku se vzorkem a druhý obsahuje prázdnou misku (referenční vzorek). Za normálních podmínek je v obou termostatech stejná teplota. Pokud dojde ve vzorku k nějaké změně (skelný přechod, tání, var), vzorek teplo spotřebovává (např. fázové přechody, sublimace) nebo uvolňuje (například krystalizace a oxidace). Tím se naruší energetická rovnováha mezi analyzovaným a referenčním vzorkem [63,64].

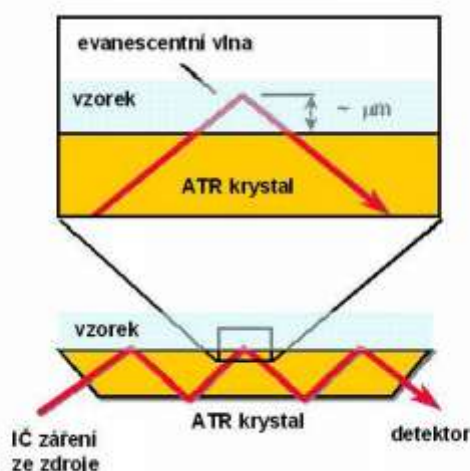
6 SPEKTROSKOPICKÉ METODY

6.1 Infračervená spektrometrie s Furierovou transformací a technikou zeslabeného úplného odrazu

Princip infračervené spektrometrie spočívá v interakci infračerveného záření s analyzovanou hmotou. Infračervené záření je elektromagnetické záření v rozmezí vlnových délek 800 až 0,5 nm (vlnčet 12500-20 cm^{-1}), navazuje tedy na jedné straně na viditelné a na druhé straně na mikrovlnné záření. Infračervená spektrometrie se podle vlnových látek dělí na dalekou (FIR), střední (MIR) a blízkou (NIR). Střední infračervená spektrometrie (4000-200 cm^{-1}) se využívá pro stanovení chemických struktur a identifikaci látek [64,65].

FTIR spektrometr s ATR technikou

Princip ATR (**Attenuated Total Reflectance**) neboli techniky zeslabeného úplného odrazu, je založen na jednoduchém či vícenásobném úplném odrazu záření na fázovém rozhraní analyzovaného vzorku a měřicího krystalu s dostatečně vysokým indexem lomu. Krystal má obvykle tvar lichoběžníkového hranolu umístěného v horizontálním uspořádání. Na tento krystal je nanášen vzorek a přiváděn do krystalu svazek paprsků soustavou zrcadel, aby úhel dopadu na fázové rozhraní vyhověl podmínce úplného odrazu. Aby bylo zajištěno dostatečné záření musí být vzorek s ATR krystalem v dokonalém kontaktu. Po absorbování záření o určité frekvenci je složka v totálně odraženém záření zeslabena. Měřené ATR spektrum je ovlivněno řadou faktorů: vlnovou délkou IČ, poměrem analyzovaného vzorku a ATR krystalu a úhel dopadu na fázové rozhraní. Podstata ATR techniky je znázorněno na obrázku číslo 3 [64,65].



Obrázek 5 Podstata ATR
techniky [61]

6.2 Fluorescenční spektrometrie

Fluorescenční spektrometrie se řadí mezi luminiscenci, což je jev, při kterém se atomy či molekuly nachází v excitovaném stavu a vyzařují světlo. Způsob, jakým došlo k záření, rozdělujeme luminiscenci na chemiluminiscenci (reakce vyvolána chemickou reakcí), bioluminiscenci a fotoluminiscenci (reakce vyvolána jiným druhem záření). Fotoluminiscence se dále dělí podle času, kdy dojde k vyzáření na fluorescenci (excitovaný stav nastane do 10^{-7} až 10^{-9} sekundy) a fosforescenci (excitovaný stav nastane mezi 10^{-4} sekund až několik dní) [59].

V případě fotoluminiscence dochází k vyzáření světla vzorkem, který byl vystaven záření o kratší vlnové délce. Schopnost látek vyzařovat světlo se nazývají fluorofory a ty se vyskytují buď přirozeně, nebo jsou do vzorků přidávány uměle.

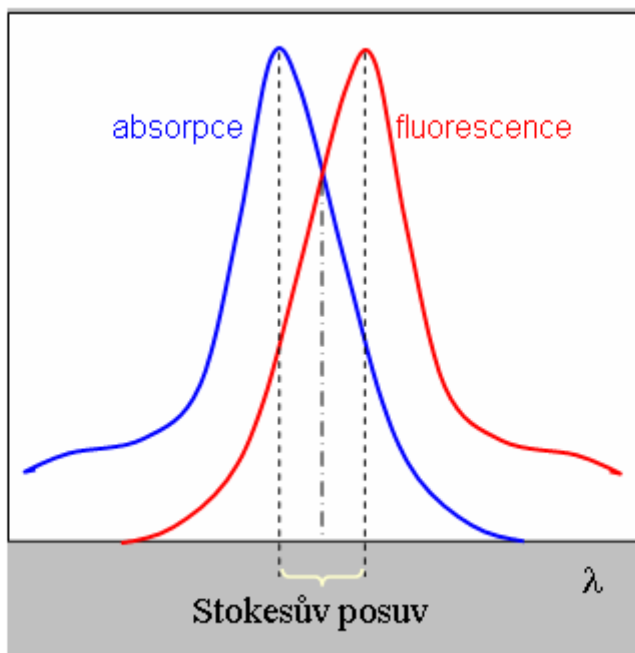
Fluorescenční spektrometrie je analytická metoda, která využívá schopnost některých látek emitovat (vysílat) po předchozím převedení do excitovaného (vzbuzeného) stavu fluorescenční záření v UV nebo viditelné oblasti. K excitaci se využívá především adsorpce UV nebo viditelné záření, běžně se využívají pulzní lasery nebo vysokotlaké výbojky. Využívá se ke stanovení vlastností vzorku, například ke stanovení koncentrace látek. Budící záření prochází excitačním monochromátorem a dopadá na vzorek v kyvetě v kolmém směru k budícímu paprsku a měří se emitované fluorescenční záření. Tohle záření nejprve musí projít monochromátorem a je detekováno na fotonásobiči. Spektrofluorimetry obsahují jeden nebo dva protilehlé monochromátory [59].

Fluorescence se projeví, pokud dojde k excitaci z vibračního stavu na základní elektronové hladině na hladinu v excitovaném stavu, tím že se vyzáří emise v podobě fotonu. Takový to excitovaný stav se nazývá singletový. V jednoduchých případech lze použít k běžným spektrometrům fluorescenční nástavce [59,66].

6.2.1 Emisní a excitační spektra

Excitační (absorpční) spektrum představuje závislost intenzity fluorescence na excitační vlnové délce.

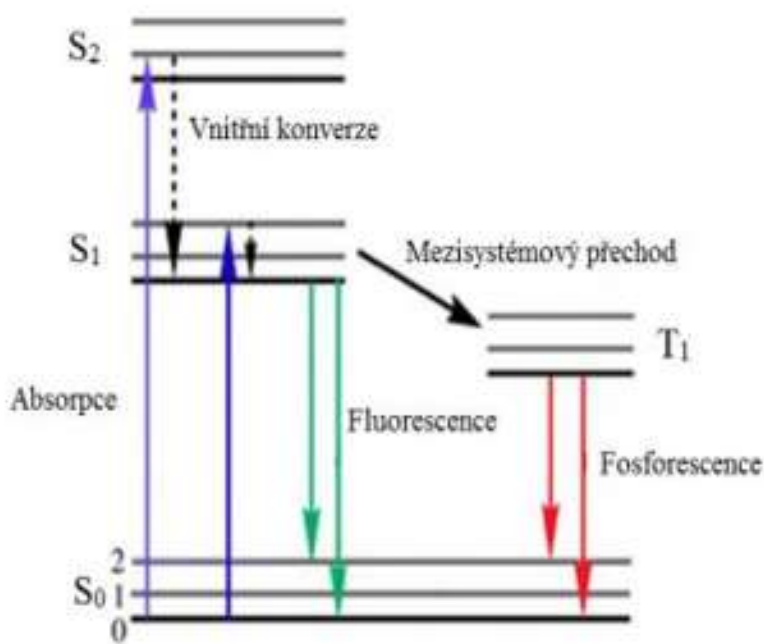
Emisní (fluorescenční) spektrum představuje závislost intenzity fluorescence na vlnové délce při konstantní vlnové délce excitace. Excitace i emise mají své maxima a rozdíl mezi těmito maximy se nazývá **Stokesův posun** [59,67].



Obrázek 6 Stokesův posun [68]

6.2.2 Jablonského diagram

Přestup záření ze základního do excitovaného stavu, tedy stavu o vyšší energii než je základní energie, znázorňuje Jablonského diagram. Ten představuje jednotlivé energetické hladiny a přechody mezi nimi. Excitace nestabilní a energeticky velmi náročný stav, proto se flouorofory snaží dostat opět do rovnovážného stavu. To se děje dvěma způsoby, buď se přebytečná energie vyzáří v podobě luminiscence, nebo nezářivými pochody. Mezi tyto pochody může zařadit například přeměnu energii na teplo [59,68].



Obrázek 7 Jablonského diagram [62]

6.3 UV-VIS spektrometrie

Princip UV-VIS spektrometrie spočívá v absorpci ultrafialového a viditelného záření v oblasti 200-800 nm zředěnými roztoky. Po absorpci záření dojde k excitaci valenčních elektronů, které jsou součástí molekulových orbitalů. Spektrometrie pro viditelnou oblast se nazývá fotometrie [59].

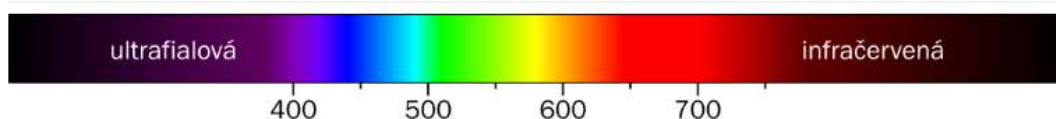
Jedná se o jednu z nejstarších fyzikálně-chemických metod. Výhodou je přesnost, rychlost, citlivost a nenáročnost provedení experimentu.

Při měření UV-VIS spektrometrie se využívají dvě metody: kolorimetrie a fotometrie.

Kolorimetrie je nejstarší optická metoda, jejíž princip spočívá ve vizuálním porovnání intenzity zbarvení vzorku a standardu. Kolorimetrie probíhá dvěma postupy. Prvním je porovnání roztoku vzorku se sadou různě koncentrovaných roztoků při stejných tloušťkách absorpční vrstvy. Druhým postupem je měření při různých tloušťkách vrstvy, dokud se nedosáhne shodné absorbance [59].

Fotometrie spočívá v objektivním měření prošlého zářivého toku. Měření probíhá na jednodušších fotometrech nebo spektrofotometrech s monochromátory. Přístroje mohou být jedno nebo více paprskové.

Látky absorbující záření o vlnové délce menší než 380 nm, se projevují jako bezbarvé. Látky absorbující záření v rozpětí vlnových délek 380-770 se projevují jako barevné. UV-VIS spektrometrie se využívá pro stanovení barevných vzorků. Vlnová délka určuje barvu látky [59].



Obrázek 8 Světelné spektrum [61]

6.3.1 Elektronová absorpční spektra

Jedná se o závislost absorbance na vlnové délce v dané oblasti. Absorbance závisí na koncentraci látky ve vzorku, z toho důvodu se pro účely porovnání spekter využívá závislost logaritmu molárního absorpčního koeficientu na vlnové délce [59].

Každé těleso má nějakou vnitřní energii, která je složena součtem energie elektronové, vibrační, rotační. Fotony ultrafialové oblasti nesou poměrně velkou energii, naopak energie fotonů v infračervené oblasti je poměrně malá. To je důvodem změny elektronových stavů v molekule po absorpci některého ze záření [59].

Za běžných podmínek se molekuly nachází v základním stavu (základní vibrační hladině), což znamená, že elektrony nejsou excitovány. Po absorpci fotonu přijme molekula energii, tím dojde k přechodu elektronů na excitovanou hladinu. Molekula přejde na jednu z mnoha vibračních a rotačních hladin. Je důležité, aby se vytvořili velmi blízké absorpční čáry ve spektru, které se spojí v pás. To je možné pouze pokud se absorbují fotony, které se energeticky liší jen minimálně [59,69].

6.3.2 Využití spektrometrie

Spektrofotometrie se využívá pro analytické metody a sleduje závislost absorbance na vlnové délce.

Při zjišťování koncentrace látky ve vzorku se využívá Lambert-Beerův zákon.

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot d = -\log T = \log I_0/I \quad (1)$$

Kde:

A absorbance

ε molární absorpční koeficient

c molární koncentrace roztoku

d délka kyvety

I_0 intenzita dopadajícího záření

I intenzita prošlého záření

UV-VIS spektrometrie umožňuje kvalitativní i kvantitativní stanovení anorganických i organických látek. Kvalitativní analýza však není úplně jednoznačná a k identifikaci musí být využity další metody, například infračervená spektrometrie nebo nukleární magnetická rezonance. Tato metoda se využívá především v lékařství, při testování léčiv, v potravinářství při určování kvality jakosti a dále také například v ekologii pro kontrolu přítomnosti látek [59,69].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bude sledovat vliv složení mastných kyselin na stabilitu rostlinných olejů a kakaového másla. Budou testovány běžné i netradiční oleje a kakaové máslo. Složení mastných kyselin bude analyzováno pomocí plynové chromatografie. Kvalita vybraných druhů olejů, podrobených tepelnému stárnutí bude hodnocena stanovením čísla kyselosti a peroxidového čísla. Metodami diferenční skenovací kalorimetrie, fluorescenční spektrometrie a infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FITR) s technikou zeslabeného úplného odrazu (ATR), UV-VIS budou hodnoceny parametry kvality těchto olejů.

8 METODIKA PRÁCE

K měření diplomové práce byly použity následující chemikálie a pomůcky.

8.1 Použité chemikálie a pomůcky

8.1.1 Chemikálie

Destilovaná voda

Chloroform (Penta, Praha)

Kyselina octová (IPL, Uherský Brod)

Nasyčený roztok jodidu draselného (IPL, Uherský Brod)

Škrobový maz (Kukuřičný škrob Gustin, Bratislava)

n-heptan pro UV spektroskopii (Chemapol, Praha)

Metanol (Sigma-Aldrich, Německo)

NaCl (IPL, Uherský Brod)

n-hexan (Sigma-Aldrich, Německo)

Síran sodný (IPL, Uherský Brod)

Diethylether (Lach:ner, Neratovice)

Etanol (Penta, Praha)

Hydroxid draselný (Sigma-Aldrich, Německo)

Fenolftalein (IPL, Uherský Brod)

Thiosíran sodný (Sigma-Aldrich, Německo)

Standardy mastných kyselin (Kaprylová, Kaprinová, Undekanová, Laurová, Tridekanová, Tetradekanová, Myristová, Myristolejová, Pentadekanová, Pentadecenová, Palmitová, Palmitolejová, Heptadekanová, Heptadecenová, Stearová, Olejová, Linolová, Gama-linolenová, Alfa-linolenová, Arachová, Eikosanová, Eikosadienová, Eikosatrienová, Eikosatrienová cis, Arachidonová)

8.1.2 Pomůcky

Plynový chromatograf (Shimadzu GC 14A s FID detekcí s polární kolonou Agilent DB-WAX) (30 m délka; 0,2 mm vnitřní průměr; 0,2 µm tloušťka filmu).

FT-IR ATR Nicolet (Avatar 320 FT-IR)

Diferenční snímací kalorimetr (DSC1, Mettler Toledo)

UV-VIS spektrofotometr (UV mini-1240, Shimadzu)

Fluorescenční spektrofotometr (RF-1501, Shimadzu)

Spektrofluorimetr (PT QM46)

Automatické pipety

Běžné laboratorní pomůcky a sklo

8.2 Charakteristika vzorku

Jednotlivé vzorky olejů byly vybrány a zakoupeny v tržní síti a skladovány za podmínek uvedených na obale. Byly hodnoceny tyto oleje:

Olivový olej

Popis: Extra panenský olivový olej, získaný pouze mechanickými postupy z oliv
Země původu: Řecko – Kréta

Slunečnicový olej

Popis: Jedlý olej rostlinný jednodruhový, vhodný na pečení, vaření, fritování a do majonéz
Nejvyšší teplota smažení 180 °C
Země původu: Maďarsko

Řepkový olej

Popis: 100% řepkový olej. Ideální pro studenou i teplou, včetně smažení kuchyní.
Země původu: Německo

Sójový olej

Popis: Olej sójový BIO jednodruhový, panenský olej z ekologického zemědělství lisovaný za studena.
Země původu: Francie

Sezamový olej

Popis: Jednodruhový rostlinný olej lisovaný za studena.
Země původu: Indie

Arašídový olej

Popis: Jednodruhový rostlinný olej bohatý na minerály a vitamíny.
Země původu: Česká republika

Lněný olej

Popis: Jednodruhový rostlinný olej lisovaný za studena ze semen lnu.

Země původu: Maďarsko

Mandlový olej

Popis: Jednodruhový rostlinný olej lisovaný za studena ze sladkých mandlí.

Země původu: Indie

Kokosový olej

Popis: Jednodruhový rostlinný panenský olej lisovaný za studena.

Země původu: Filipíny

Kakaové máslo

Popis: Kakaové máslo deodorizované.

Země původu: Ekvádor

8.3 Stanovení mastných kyselin u jednotlivých olejů

Jako metoda byla použita analýza metyl-esterů mastných kyselin a stanovení probíhalo pomocí plynové chromatografie.

Postup metylesterifikace:

Do 100 ml odměrných baněk bylo naváženo přibližně 2 g oleje. K navážce bylo přidáno 20 ml metanolu, 0,5 ml 1M metanolickeho hydroxidu draselného a 3 varné kamínky. Směs byla vařena 30 minut pod zpětných chladičem na topném hnízdě. Po uplynutí reakční doby byla baňka ochlazená a reakční směs byla převedena do dělicí nálevky. Baňka byla promyta 10 ml hexanu a ten byl následně s 15 ml 20% roztoku NaCl převeden do dělicí nálevky. Celý obsah dělicí nálevky byl řádně protřepán a byla oddělena vodná fáze do další dělicí nálevky s 5 ml hexanu. Obsah této druhé dělicí nálevky byl také protřepán a byla oddělena vodní a hexanová fáze. Hexanové podíly u obou nálevek byly spojeny a protřepány s 15 ml 20 % NaCl. Po oddělení fází byla hexanová fáze vysušena v Erlenmayerově baňce síranem sodným. Následně byl vysušený roztok zfiltrován do 5 ml odměrné baňky. Připravené vzorky byly zředěny v poměru 1 díl vzorku a 4 díly hexanu.

Postup plynové chromatografie:

Analýza byla provedena na plynovém chromatografu Shimadzu GC 14A s FID detekcí s polární kolonou Agilent DB-WAX (30 m délka; 0,2 mm vnitřní průměr; 0,2 μm tloušťka filmu).

Podmínky chromatografie:

Teplota nástřiku: 225 °C (INJ)

Teplota detektoru: 230 °C (DET)

Teplota kolony, gradientový ohřev (COL):

- COL INIT TEMP 110
- COL INIT TIME 3,0
- COL PROG RATE 15
- COL FINAL TEMP 220
- COL FINAL TIME 10

Průtok plynů:

- dusík – nosný plyn, 2,5 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$
- dusík – pro oplachování 0,5 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$
- vzduch 0,3 – 0,5 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$
- vodík 0,5 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$.

Jako první byly proměřeny standardy mastných kyselin. K jednotlivým píkům byly přiřazeny mastné kyseliny podle literatury a následně byly proměřeny všechny oleje. Dalším krokem bylo přiřazení jednotlivých mastných kyselin k metyl-esterům olejů [59,70,71,71,72].

8.4 Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)

Tímto stanovením bylo sledováno krystalizační chování jednotlivých olejů na diferenčním skenovacím kalorimetru s využitím hliníkových pánviček o objemu 40 μl s víčkem a pinem.

Postup: 20 μl oleje bylo dávkováno na pánvičky, které byly následně zavíčkované a jednotlivě vloženy do přístroje.

Diferenční skenovací kalorimetr byl nastaven na 5 cyklů, a to:

1. Cyklus, (záhřev 10 °C/min) na teplotu 50 °C
2. Cyklus, isothermální při 50 °C, zádrž 5 min
3. Cyklus, chlazení 5 °C/min do – 80 °C
4. Cyklus, isothermální při - 80 °C, zádrž 3 min
5. Cyklus (záhřev 5 °C/min) do teploty 50°C.

Naměřené hodnoty představují krystalizační chování olejů a tání [62].

8.5 Fluorescenční spektrometrie

Nejprve byla provedena optimalizace metody, a to hledání ideální koncentrace pro stanovení. Olej byl naředěn na různé koncentrace heptanem (1, 5, 20 a 50 %). Ideální koncentrace olejů byla zvolena na 5 % hm. Jednotlivé frakce byly naředěny na tuto koncentraci a proměřeny na spektrofluorimetru PT QM46. Měření probíhalo v rozsahu vlnových délek excitace 250-350 nm u kokosového, mandlového a kakaového másla, ostatní oleje 300-380 nm a emise a od 600-700 nm. Z naměřených hodnot byly sestaveny grafy jako závislost intenzity záření na vlnové délce [73].

8.6 Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FITR) s technikou zeslabeného úplného odrazu (ATR)

K získání infračervených spekter byl použit přístroj FTIR (Nicolet), ke kterému byl přiřazen nástavec ATR. Před měřením vzorku bylo pokaždé proměřeno pozadí, aby analyzované spektrum bylo co nejpřesnější, poté byly nanášeny jednotlivé vzorky přímo na ATR krystal [64].

8.7 Tepelné namáhání olejů

Pro další analýzy byly použity pouze oleje, které se běžně používají při kuchyňském zpracování, a to olivový, řepkový a slunečnicový olej.

Oleje byly zahřívány 24 hodin a každé 3 hodiny byla odebrána jedna frakce. Každý olej měl tyto frakce (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 a 24 hodin). Olivový olej byl zahříván na cca 130 °C, slunečnicový a řepkový olej na cca 150 °C. Nižší teplota u olivového oleje byla použita z důvodu, nižší tepelné stability u tohoto oleje. Jednotlivé frakce byly skladovány ve tmě, při pokojové teplotě v uzavřených a popsaných nádobách.

8.7.1 UV-VIS spektrometrie

Ke stanovení byly použity jednotlivé frakce olejů připravené v kapitole 8.7. Jako první proběhla optimalizace metody jako u fluorescenční spektrometrie. Zde byla koncentrace zvolena na 50 obj. %. Jednotlivé frakce olejů byly naředěny v heptanu na tuto koncentraci a proměřeny na spektrofotometru Shimadzu UV mini-1240. Bylo měřeno spektrum od 200–800 nm. Z naměřených hodnot byly sestaveny grafy jako závislost absorbance na vlnové délce. Touto metodou byl proměřen pouze olivový olej. Pro stanovení tepelného namáhání ostatních olejů se tato metoda ukázala jako méně citlivá [74].

8.7.2 Stanovení čísla kyselosti

Číslo kyselosti je ukazatelem obsahu volných mastných kyselin v tuku a bylo stanoveno následujícím způsobem:

Bylo odváženo 4 g jednotlivých frakcí olejů a vzorek byl rozpuštěn v 50 ml směsi diethyletheru a etanolu. Směs byla titrována 0,1M hydroxidem draselným na indikátor fenolftalein do růžového zbarvení. Slepý pokus byl proveden stejným způsobem, avšak bez přídavku oleje. Obsah volných mastných kyseliny byl vypočten podle vzorce:

$$V \cdot c \cdot \frac{M}{1000} \cdot \frac{100}{m} = \frac{V \cdot c \cdot M}{10 \cdot m} \quad (2)$$

Kde:

V	spotřeba odměrného roztoku KOH [ml]
c	koncentrace odměrného roztoku KOH [0,1mol/l]
m	hmotnost vzorku [g]
M	molární hmotnost kyseliny olejové [282 g/mol]

Výsledky byly zpracovány jako aritmetický průměr třech měření, z vypočtených dat byly dále zapracovány do grafů [75].

8.7.3 Stanovení peroxidového čísla

Do Erlenmayerovy baňky byl navážen 1 g jednotlivé frakce oleje, dále byla do baňky přidána směs kyseliny octové a chloroformu v poměru 3:2 a 1 ml nasyceného roztoku jodidu draselného. Směs byla míchána, přesně po 1 minutě byla reakce ukončena přidáním 30 ml destilované vody. Do směsi bylo přidáno 5 ml škrobového mazu a směs byla titrována

odměrným 0,01 M roztokem thiosíranu sodného do odbarvení. Slepý pokus byl stanoven stejným postupem bez přídavku oleje. Peroxidové číslo (PČ) bylo vypočteno podle vzorce:

$$P\check{C} = \frac{V \cdot T \cdot 1000}{m} \quad (3)$$

Kde:

$P\check{C}$ peroxidové číslo [meqO₂/kg]

V spotřeba odměrného roztoku [ml]

T přesná koncentrace odměrného roztoku [0,0197 mol/l]

m navážka vzorku [g]

Výsledek byl vypočten jako aritmetický průměr třech stanovení z každé frakce. Vypočtené hodnoty byly následně zapracovány do grafů [76].

9 VÝSLEDKY A DISKUZE

9.1 Výsledky a diskuze u tepelně nezahříváných olejů

Složení mastných kyselin u jednotlivých olejů (olivový, slunečnicový, řepkový, sójový, arašídový, mandlový, sezamový, lněný, kokosový a kakaové máslo) bylo stanoveno plynovou chromatografií s detekcí po převedení vzorků na metylestery, varem vzorku s metanolem a metanolickým hydroxidem draselným.

9.1.1 Výsledky stanovení mastných kyselin u jednotlivých olejů

Vzorky byly připraveny postupem uvedeným v kapitole 8.3.

Tabulka 15 Retenční časy elučních píků standardů

Pík	Retenční čas (min)	Název MK
1	1,330	Kapronová
2	2,210	Kaprylová
3	4,220	Kaprinová
4	5,270	Undekanová
5	6,230	Laurová
6	7,110	Tridekanová
7	7,930	Myristová
8	8,230	Myristolejová
9	8,690	Pentadekanová
10	8,970	Pentadecenová
11	9,410	Palmitová
12	9,600	Palmitolejová
13	10,090	Heptadekanová
14	10,270	Heptadecenová
15	10,770	Stearová
16	10,930	Olejová
17	11,310	Linolová
18	11,590	Gama-linolenová
19	11,900	Alfa-linolenová
20	12,540	Arachová
21	12,790	Eikosanová
22	13,400	Eikosadienová
23	13,780	Eikosatrienová
24	14,150	Eikosatrienová cis
25	14,360	Arachidonová

Jako standard byl použit vzorek Supelco™ 37 Component FAME Mix.

Tabulka 16 Vzorek standardu C11C16C18

Pík	Retenční čas (min)	Název MK
1	5,200	Undekanová
2	9,380	Palmitová
3	10,900	Olejová

Tabulka 17 Vzorek standardu C8C12C16C18:1C20:1

Pík	Retenční čas (min)	Název MK
1	2,170	Kaprylová
2	6,200	Laurová
3	9,390	Palmitová
4	10,920	Olejová
5	12,500	Arachová

Retenční časy mastných kyselin uvedené v tabulce č. 15 jsou ve shodě s literaturou, která byla dodána dodavatelem standardů mastných kyselin. Dále byly vzorky standardů srovnány s literaturou, kterou publikoval Mohammen Danish, vzorky se s publikací shodovaly [77].

Tabulka 18 Zastoupení mastných kyselin v olivovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,390	12,0	Palmitová
2	9,570	1,1	Palmitolejová
3	10,750	2,7	Stearová
4	10,930	77,8	Olejová
5	11,290	6,3	Linolová

V olivovém oleji bylo detekováno pět mastných kyselin a jsou uvedeny v tabulce č. 18. Převažující kyselinou byla kyselina olejová, která byla stanovena na 77,8 %. Dále byly detekovány kyseliny palmitová, palmitolejová, stearová a linolová. Ve studii Katsoyannose je uvedeno zastoupení mastných kyselin u kyseliny olejové v rozmezí 72-75 %, kyseliny palmitové v rozmezí 11-12,5 % a kyseliny linolové v rozmezí 7-8 % [78]. Podle Olliviera bylo stanoveno zastoupení mastných kyselin v olivovém oleji u olejové

kyseliny na 73 %, u kyseliny palmitové na 12 % a u kyseliny linolové na 9,4 %. Ollivier stanovoval obsah mastných kyselin v olivovém oleji z Francie, proto se může lehce lišit od námi naměřeného oleje, jelikož náš olej pochází z Řecka. Klimatické podmínky mají na složení mastných kyselin velký vliv [79].

Tabulka 19 Zastoupení mastných kyselin ve slunečnicovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,400	6,6	Palmitová
2	10,770	3,2	Stearová
3	10,940	36,2	Olejová
4	11,340	54,0	Linolová

U slunečnicového oleje byly detekovány čtyři mastné kyseliny a zastoupení mastných kyselin je uvedeno v tabulce č. 19. Z nasycených mastných kyselin je to kyselina palmitová 6,6 % a kyselina stearová 3,2 %. Z nenasycených mastných kyselin byla detekována kyselina olejová z 36,2 % a nejvíce zastoupená byla kyselina linolová z 54 %. Díky vysokému obsahu kyseliny linolové není slunečnicový olej příliš vhodný na smažení, jelikož snadno oxiduje. V publikaci Nikolase Webera je uvedeno stejné zastoupení mastných kyselin, a to: kyselina palmitová, stearová, olejová a linolová. Dále je v této publikaci uveden obsah kyseliny linolové na 60 %, kyseliny olejové na 25 % a obsah kyseliny palmitové na 9 %. [80] Noor Lida uvádí u slunečnicového oleje zastoupení linolové kyseliny na 65,6 %, olejové kyseliny na 22,7 %, kyseliny palmitové na 6,4 % a kyseliny stearové na 4,5 %. [81]

Tabulka 20 Zastoupení mastných kyselin v řepkovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,410	5,9	Palmitová
2	10,770	1,5	Stearová
3	10,950	64,1	Olejová
4	11,320	19,7	Linolová
5	11,910	7,6	Alfa-linolenová
6	12,820	1,1	Eikosanová

V řepkovém oleji bylo detekováno 6 mastných kyselin a jejich obsah je uveden v tabulce č. 20. Byly detekovány následující mastné kyseliny: olejová, linolová, alfa-linolenová,

palmitová a stopové množství kyseliny stearové a eikosanové. Ve studii, kterou publikoval Virginie Dubois je stanoven obsah kyseliny olejové na 60,1 %, obsah kyseliny linolové na 21,5 % [9].

Nicolas Weber uvádí obsah kyseliny olejové v řepkovém oleji na 54,3 % a obsah kyseliny linolové na 27,9 %. Námi naměřený vzorek je v rozmezí mezi zmíněnými publikacemi [80].

Tabulka 21 Zastoupení mastných kyselin v sójovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,410	10,1	Palmitová
2	10,770	4,4	Stearová
3	10,940	22,6	Olejová
4	11,330	54,7	Linolová
5	11,910	8,3	Alfa-linolenová

Zastoupení mastných kyselin je uvedeno v tabulce č. 21. Sójový olej je z více jak půlky (54,7 %) složen z kyseliny linolové. Sójový olej dále obsahoval kyselinu olejovou, kyselinu palmitovou, kyselinu alfa-linolenovou a kyselinu stearovou. Gustone uvádí ve své studii obsah kyseliny linolové v sójovém oleji na 52,1 %, 29,3 % kyseliny olejové a 10,8 % kyseliny palmitové [82].

Tabulka 22 Zastoupení mastných kyselin v arašídovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,420	12,5	Palmitová
2	10,770	3,0	Stearová
3	10,940	61,2	Olejová
4	11,320	20,7	Linolová
5	11,920	2,7	Alfa-linolenová

Zastoupení mastných kyselin v arašídovém oleji je uvedeno v tabulce č. 22. V arašídovém oleji bylo detekováno 5 mastných kyselin: kyselina palmitová, stearová, olejová, linolová a alfa-linolenová, přičemž kyselina olejová byla zastoupena nejvíce, a to z 61,2 %. Složení mastných kyselin se shoduje se studií publikovanou O'Brienem, který uvádí množství kyseliny olejové na 47,9 %, obsah kyseliny linolové na 30,3 % a kyseliny stearové na

10,4 %. Odchyly mohou být způsobeny jako u předchozího oleje podmínkami pěstování a zpracování oleje.[16]

Tabulka 23 Zastoupení mastných kyselin v mandlovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,410	6,4	Palmitová
2	10,770	2,8	Stearová
3	10,950	65,9	Olejová
4	11,320	24,6	Linolová
5	11,910	0,4	Alfa-linolenová

Zastoupení mastných kyselin v mandlovém oleji je uvedeno v tabulce č. 23. Mandlový olej je nejvíce zastoupen kyselinou olejovou, a to z 65,6 %. Další mastné kyseliny detekovány v mandlovém oleji jsou: kyselina linolová, kyselina palmitová, kyselina stearová a stopové množství kyseliny alfa-linolenové. F. Gustone ve své práci uvádí obsah kyseliny olejové v mandlovém oleji na 67,15 %, 23,4 % kyseliny linolové a 6,21 % kyseliny palmitové.[82]. O'Brien uvádí obsah kyseliny olejové v rozmezí 65-70 %, což odpovídá námi naměřenému vzorku [16].

Tabulka 24 Zastoupení mastných kyselin ve lněném oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,420	6,9	Palmitová
2	10,770	3,8	Stearová
3	10,940	19,7	Olejová
4	11,330	19,2	Linolová
5	11,940	50,4	Alfa-linolenová

Zastoupení mastných kyselin ve lněném oleji je uvedeno stanoveno v tabulce č. 24. Lněný olej je složen převážně s polynenasycených mastných kyselin. U lněného oleje bylo detekováno 50,4 % kyseliny alfa-linolenové. F. Guston ve své publikaci uvádí rozsah kyseliny linolenové ve lněném oleji v rozmezí 35-60 %, obsah kyseliny olejové v rozmezí (14-40 %), obsah kyseliny linolové v rozmezí (14-29 %), obsah kyseliny stearové v rozmezí (2-6 %) a obsah kyseliny palmitové v rozmezí (5-7 %) [83].

Tabulka 25 Zastoupení mastných kyselin v sezamovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	9,410	10,2	Palmitová
2	10,770	5,4	Stearová
3	10,940	43,2	Olejová
4	11,320	40,0	Linolová
5	11,920	0,5	Alfa-linolenová
6	12,570	0,6	Arachová

Zastoupení mastných kyselin v sezamovém oleji je uvedeno v tabulce č. 25. Sezamový olej je nejvíce zastoupen dvěma mastnými kyselinami, a to kyselinou olejovou 43,2 % a kyselinou linolovou ze 40 %. Další kyseliny, které jsou zastoupeny v sezamovém oleji je kyselina palmitová (10,2 %) a kyselina stearová (5,4 %). Sezamový olej dále obsahuje stopové množství kyseliny alfa-linolenové a arachové. V publikaci F. Gustona je uveden obsah kyseliny palmitové v rozmezí 9,2-12 %, obsah kyseliny stearové v rozmezí 3,5-6 %, obsah kyseliny olejové v rozmezí 33,5-50 %, obsah kyseliny linolové v rozmezí 42,6-50 % a ostatní stopové množství mastných kyselin do 2 %. Námi naměřená data sezamového oleje se s publikací shodují [83].

Tabulka 26 Zastoupení mastných kyselin v kokosovém oleji

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	2,200	8,4	Kaprylová
2	4,210	6,3	Kaprinová
3	6,250	48,2	Laurová
4	7,940	17,5	Myristová
5	9,410	8,0	Palmitová
6	10,770	2,9	Stearová
7	10,940	6,7	Olejová
8	11,320	1,9	Linolová

Zastoupení mastných kyselin v kokosovém oleji je uvedeno v tabulce č.26. Kokosový olej obsahuje převážně nasycené mastné kyseliny: kaprylovou, kaprinovou, lauronovou, myristovou, palmitovou a stearovou, což odpovídá tuhému skupenství při pokojové teplotě.

Z nenasycených mastných kyselin obsahuje kokosový olej kyselinu olejovou a linolovou. Ve studii Juliuse Ponthoa, který stanovoval mastné kyseliny v kokosovém oleji plynovou chromatografií uvádí následující zastoupení mastných kyselin: kaprylová, kaprinová, lauronová, myristová, palmitová, stearová, olejová a linolová, což se naprosto shoduje s námi naměřenými daty [23].

V práci Diany Morigradean je uveden obsah kyseliny lauronové 44,6 %, obsah kyseliny myristové 20,4 % a obsah kyseliny palmitové 11,2 %. Mírné odchylky mohou být způsobeny podmínkami pěstování a zpracování kokosového ořechu a podmínkami výroby kokosového oleje [24].

Tabulka 27 Zastoupení mastných kyselin v kakaovém másle

Pík	Retenční čas (min)	Zastoupení MK (%)	Název MK
1	2,210	0,4	Kaprylová
2	6,240	2,1	Laurová
3	7,930	0,8	Myristová
4	9,430	28,3	Palmitová
5	10,080	1,3	Heptadekanová
6	10,800	31,1	Stearová
7	10,960	30,0	Olejová
8	11,310	3,1	Linolová
9	12,560	1,0	Arachová
10	12,810	1,9	Eikosanová

Kakaové máslo má velmi rozmanité složení mastných kyselin a je uvedeno v tabulce č. 27. Nejvíce byly zastoupeny kyseliny palmitová, stearová a olejová. V kakaovém másle se také vyskytovaly mastné kyseliny s kratším řetězcem, a to: kaprylová, laurová a myristová. Zastoupení nasycených mastných kyselin s kratším řetězcem odpovídá pevnému skupenství kakaového másla při pokojové teplotě. Kakaové máslo obsahuje stopové množství kyseliny linolové, arachové a eikosanové. Viriginie Dubois ve své práci uvádí obsah mastných kyselin v kakaovém másle: kyselina palmitová v rozmezí 24-26 %, kyselina stearová 30-36 % a kyseliny olejová 30-39 % [9].

9.1.2 Výsledky diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)

Měření diferenční skenovací kalorimetrie probíhalo podle postupu uvedeném v kapitole 8.4 a jednotlivé záznamy DSC olejů jsou v příloze P I.

Tabulka 28 Krystalizační píky jednotlivých olejů

Vzorek oleje	T ₁ (°C)	ΔH (J/g)	T ₂ (°C)	ΔH (J/g)	T ₃ (°C)	ΔH (J/g)
Olivový	-41,8	33,36	-13,2	4,79		
Slunečnicový	-66,9	6,94	-41,8	2,77	-15,4	2,03
Sójový	-70,1	2,98	-42,2	4,15	-12,3	2,36
Řepkový	-53,2	33,5				
Arašídový	-53,3	17,4	-1,6	5,4		
Sezamový	-63,1	1,68	-37,5	1,89	-8,1	8,92
Lněný	-70,4	8,02	-40,9	4,51	-15,7	1,95
Mandlový	-46,7	36,76				
Kokosový olej	5,8	107,2				
Kakaové máslo	1,46	1,14	12,6	41,0	18,4	6,37

Analýza olejů pomocí DSC je založena na tom, že každý tuk má specifické složení mastných kyselin a triacylglycerolů (TAG), které jsou charakteristické svým profilem tání a krystalizace. Program ohřevu byl nastaven tak, že nejdříve byly jednotlivé oleje zahřívány na 50 °C, aby roztály všechny krystaly a zárodky tuku a potom byl vzorek ochlazován až na – 80 °C, což souvisí s krystalizačním chováním. Jednotlivé druhy olejů obsahují jeden až tři krystalizační píky podle složení mastných kyselin a TAG v olejích a jsou uvedeny v tabulce č. 28. Teplota krystalizace souvisí s počtem nenasycených vazeb. Čím víc nenasycených vazeb olej obsahuje, tím je nižší krystalizační teplota. Nejnižší teplota krystalizace byla zaznamenána u lněného oleje, což se dalo předpokládat vzhledem k jeho složení mastných kyselin, které byly stanoveny plynovou chromatografií. (viz tabulka č.24). Nejvyšší teploty krystalizace byly zaznamenány u kokosového oleje a kakaového másla. To je způsobeno vysokým podílem nasycených vazeb v těchto olejích a tucích. U kakaového másla byly detekovány tři krystalizační píky. Marty-Terrade ve své studii uvádí, že důvodem pro tři

krystalizační píky u kakaového másla je jeho polymorfismus, tedy schopnost krystalizovat ve více modifikacích. Kakaové máslo je schopné krystalizovat v modifikaci α , která je nejméně stabilní, β' a nejstabilnější modifikaci β . Vysoké teploty krystalizace jsou způsobeny složením kakaového másla, které je z velké části složeno z nasycených mastných kyselin [84].

Kadivar také uvádí, že krystalizační teploty se výrazně liší rychlostí chlazení, tedy pokud zvýšíme nebo snížíme dobu chlazení dostaneme úplně jiné krystalizační teploty. V této studii je dále uvedeno, že pro krystalizaci nejstabilnější modifikace β je v rozsahu od 20 do 25 °C. Teplota, která byla stanovena u našeho vzorku nižší, ale to může být způsobeno jiným nastavením přístroje [85].

Tabulka 29 Profil tání jednotlivých olejů

Vzorek oleje	T ₁ (°C)	ΔH (J/g)	T ₂ (°C)	ΔH (J/g)	T ₃ (°C)	ΔH (J/g)
Olivový	-4,4	92,7	5,3	18,23		
Slunečnicový	-76,8	9,57	-33,9	25,35	-23,2	82,19
Sójový	-76,9	8,84	-37,9	25,19	-26,4	79,12
Řepkový	-16,8	99,38				
Arašídový	-22,6	16,47	-9,8	92,79	11,58	10,98
Sezamový	-67,3	3,37	-33,3	21,10	-19,5	103,42
Lněný	-77,1	7,92	-37,8	34,16	-28,6	69,08
Mandlový	-10,26	98,74				
Kokosový olej	25,2	128,02				
Kakaové máslo	21,32	127,97				

Profil tání jednotlivých druhů olejů je uveden v tabulce č. 29, a je v rozmezí -80 °C až do 25 °C podle obsahu nenasycených a nasycených MK viz příloha PI. Oblast teploty tání a strmost píků jsou důsledkem složení, polymorfismu a tepelné historie jednotlivých olejů. Lze říct, že oleje s vysokým stupněm nasycení vykazují profil tání při vyšších teplotách což je možné

pozorovat u kokosového oleje a kakaového másla. Naopak u lněného oleje, který má nejvyšší stupeň nenasycenosti vykazuje teplotní profil při velmi nízkých teplotách.

9.1.3 Výsledky fluorescenční spektrometrie

Tabulka 30 Excitační a emisní píky jednotlivých olejů

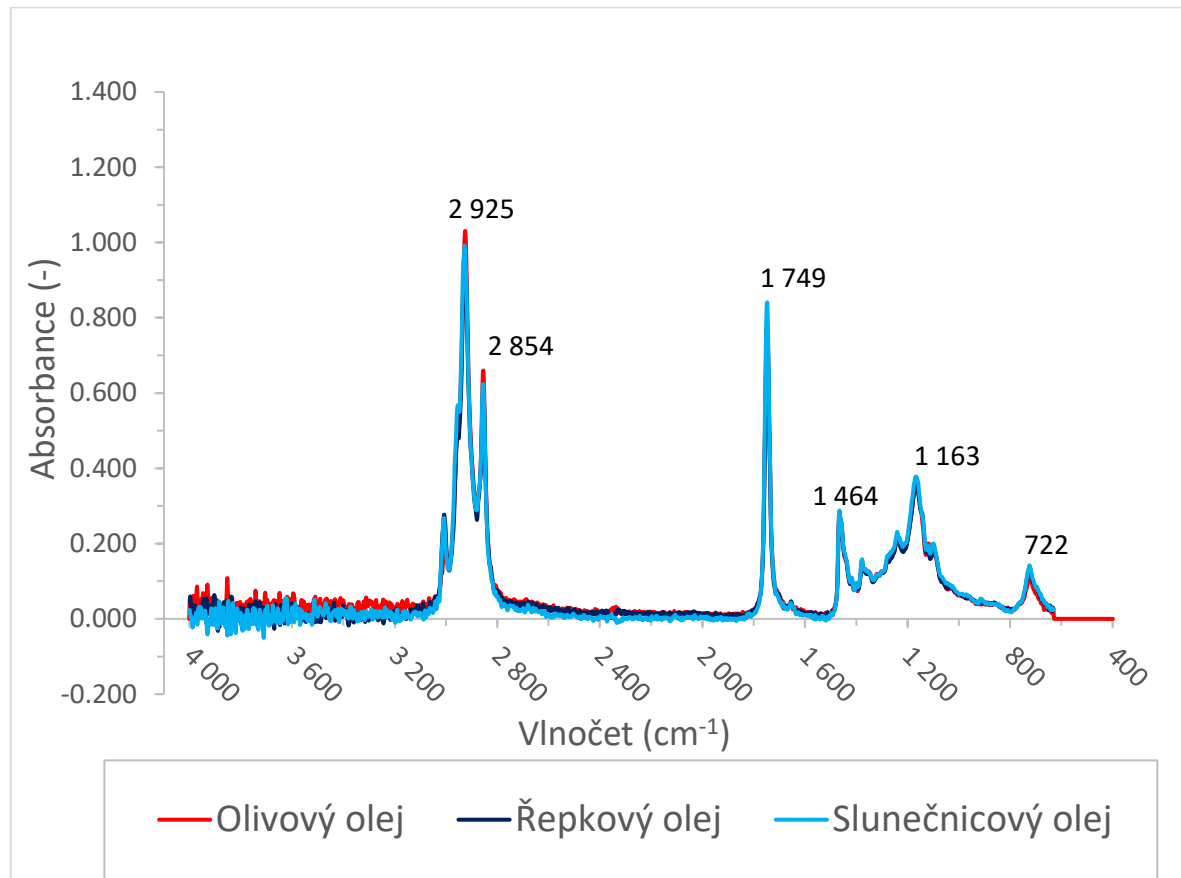
Oleje a tuky	Excitace (nm)	Emise (nm)
Olivový	340	360
	643	668
Řepkový	360	390
Slunečnicový	340	360
Sójový	339	360
Arašídový	389	402
Mandlový	288	302
Sezamový	360	390
Lněný	339	360
Kokosový	289	302
Kakaové máslo	288	302

Jednotlivé excitační a emisní spektra jsou uvedeny v tabulce č.30, grafy excitačních a emisních spekter jsou uvedeny v příloze P II. Fluorescenční spektroskopie je rychlá, přesná a vysoce selektivní metoda, která se často používá k určení složení směsí rostlinných olejů a ve spojení s plynovou chromatografií může být využita k analýze složení olejů. Podmínkou analýzy pomocí fluorescenční spektrometrie je přítomnost flouoroforů. Jednotlivé látky lze od sebe rozeznávat, protože každá látka má své charakteristické excitačně/emisní spektrum. Měření probíhalo v rozsahu excitace od 250-300 nm u mandlového oleje, kokosového a kakaového másla, u ostatních olejů v rozsahu 300-380 nm. Dále probíhalo měření excitace v rozmezí 600-700 nm. Intenzivní buzení bylo zaznamenáno u všech olejů v oblasti excitace v rozmezí 288-360 nm. Yuan ve své publikaci přiřazuje excitační pásy od 250-400 nm tokoferolům a fenolickým sloučeninám [86].

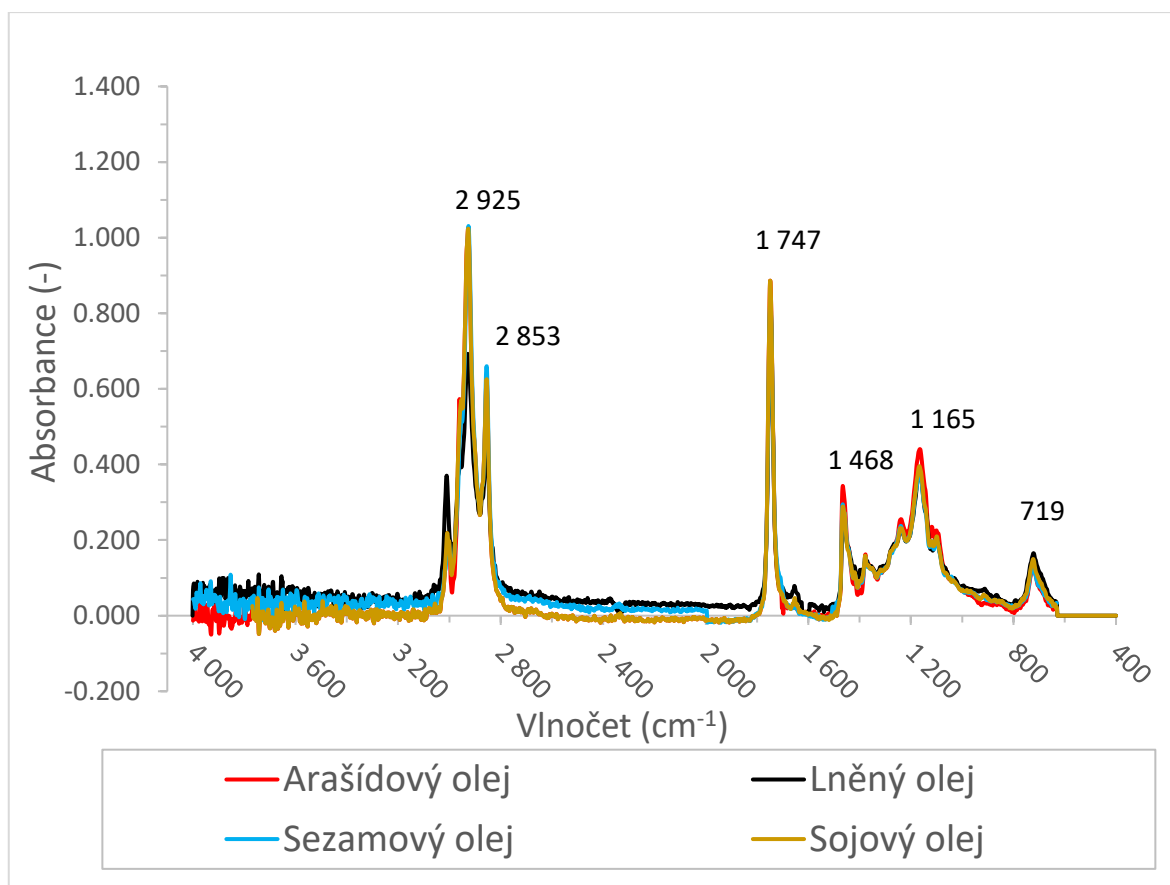
U olivového oleje byl navíc detekován emisní pik při 668 nm, který je podle publikace Ewy Sikorské připisován chlorofylu [87]. Oleje můžeme považovat za komplexní systém, který představuje mnoho fluoreskujících molekul. U olivového oleje ve spektru pozorujeme při excitačních vlnových délkách 340 nm a emisních 360 nm tokoferoly a excitaci 643 nm a emisi 668 nm chlorofyl. Z výsledků vyplývá, že u slunečnicového oleje při excitaci 340 nm dochází k emisi při 360 nm. U olejů pozorujeme excitačně-emisní píky ve stejných oblastech na rozdíl od kokosového, mandlového a kakaového másla, které mají excitačně-emisní píky posunuty k nižším hodnotám, což souvisí se složením těchto tuků.

9.1.4 Výsledky FT-IR

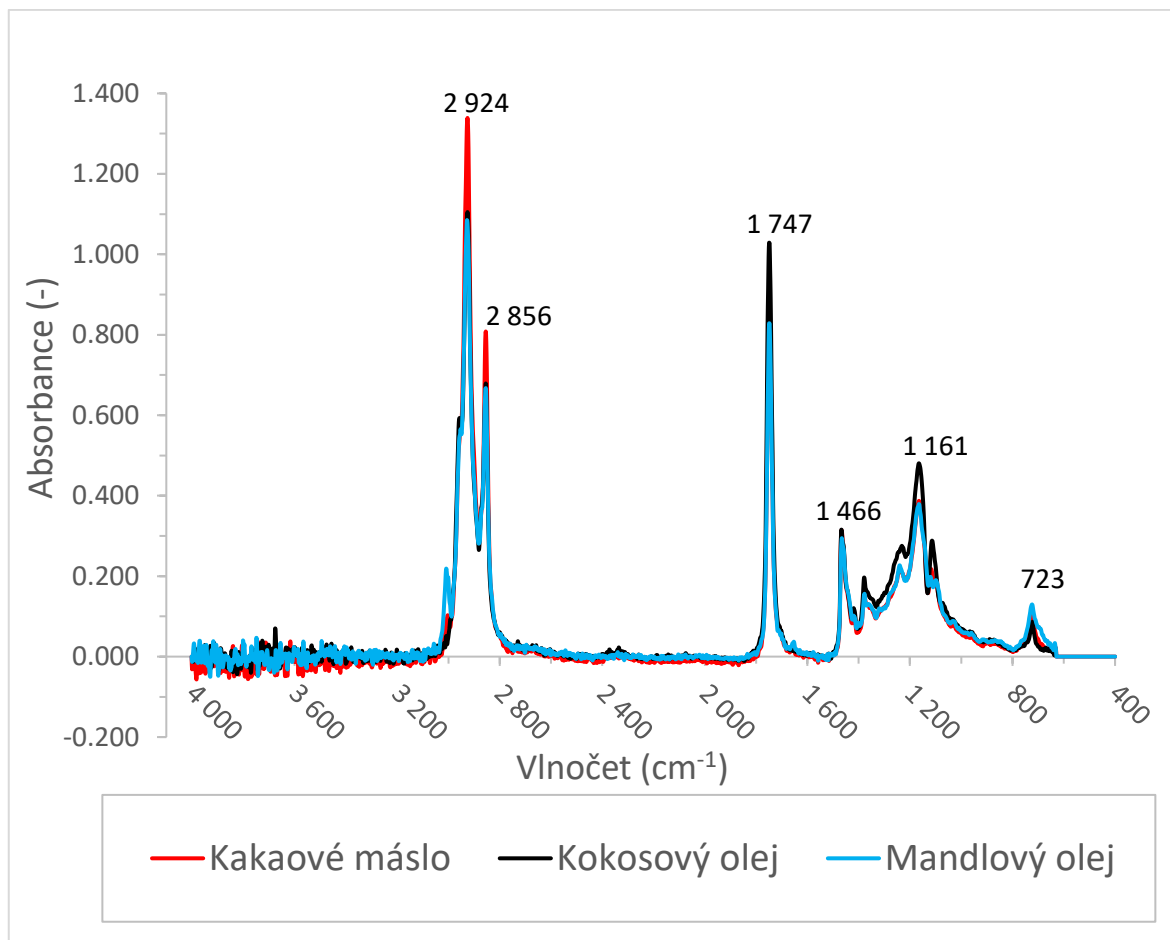
Postup analýzy byl popsán v kapitole 8.6.



Graf 1 FT-IR olivového, řepkového a slunečnicového oleje bez záhřevu



Graf 2 FT-IR arašídového, sezamového, lněného a sójového oleje bez záhřevu



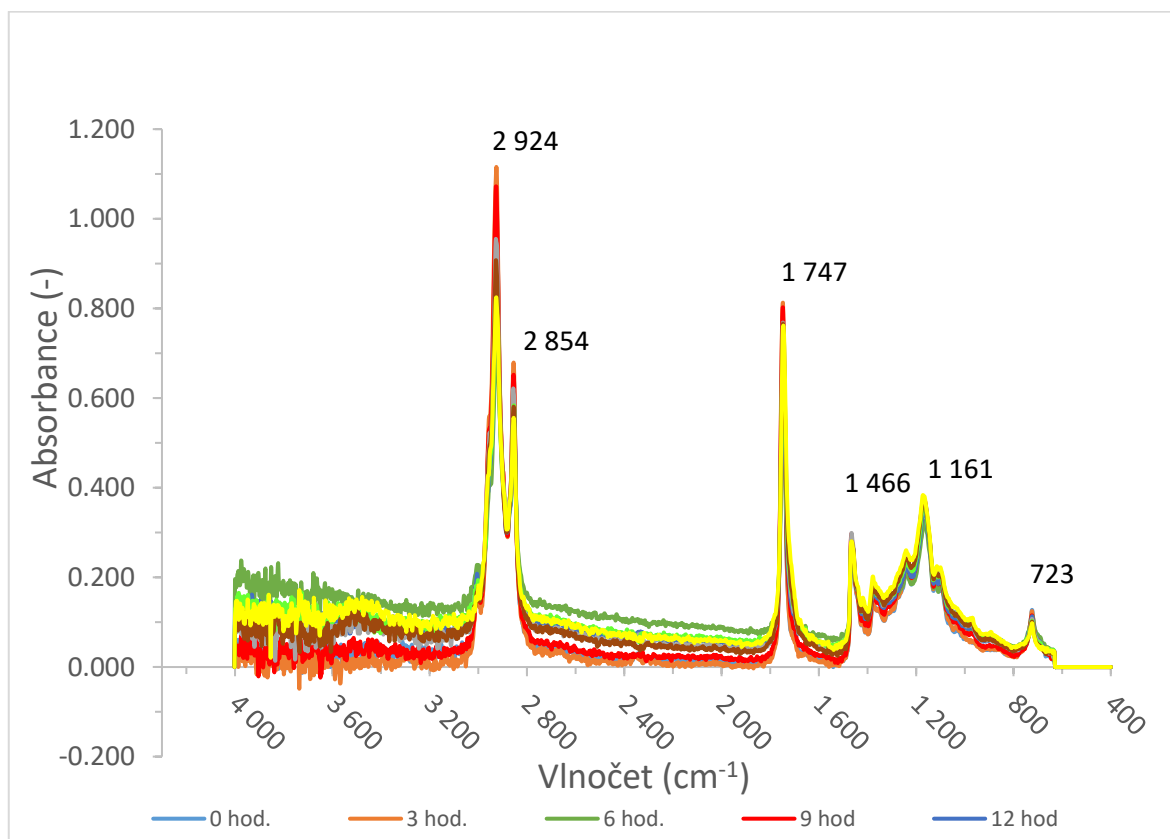
Graf 3 FT-IR kakaového másla, kokosového a mandlového oleje bez záhřevu

FT-IR jednotlivých druhů olejů jsou znázorněny v grafech č.1, 2 a 3. Ve studii, kterou publikoval Ledreau jsou uvedeny následující hodnoty vlnočtu pro jednotlivé skupiny. Hodnota vlnočtu od 3008 cm^{-1} náleží nasyceným (jednoduchým) vazbám. Hodnota vlnočtu 1685 cm^{-1} je přiřazena dvojným vazbám a od vlnočtu 1200 cm^{-1} se nachází oblast tzv. otisk palce oleje, který je charakteristický pro jednotlivé druhy olejů. Jednotlivá spektra olejů se zdají velmi podobné, ačkoliv se jejich chemické složení značně lišilo. I když ve výsledných grafech to není jasně patrné, hlavní rozlišovací kritérium se týká podílu dvojných vazeb v alifatickém řetězci mastných kyselin. Z grafu je patrné, že nejvíce nasycených vazeb má kakaové máslo a kokosový olej, což je zřejmé i ze složení těchto dvou tuků. Naopak nevíce nenasycených vazeb obsahuje lněný a sezamový olej, znamená to také, že jsou nejvíce náchylné na oxidaci [66].

9.2 Výsledky a diskuze tepelně namáhání olejů

Bylo provedeno tepelné namáhání olejů (olivový, řepkový, slunečnicový) po dobu 24 hodin a odebírány jednotlivé vzorky. Olivový olej byla zahříván cca na 130 °C a řepkový a slunečnicový olej na 150 °C. Z těchto frakcí byla následně provedena infračervená spektrometrie s Furierovou transformací, UV-VIS spektrometrie, stanovení čísla kyselosti a peroxidového čísla.

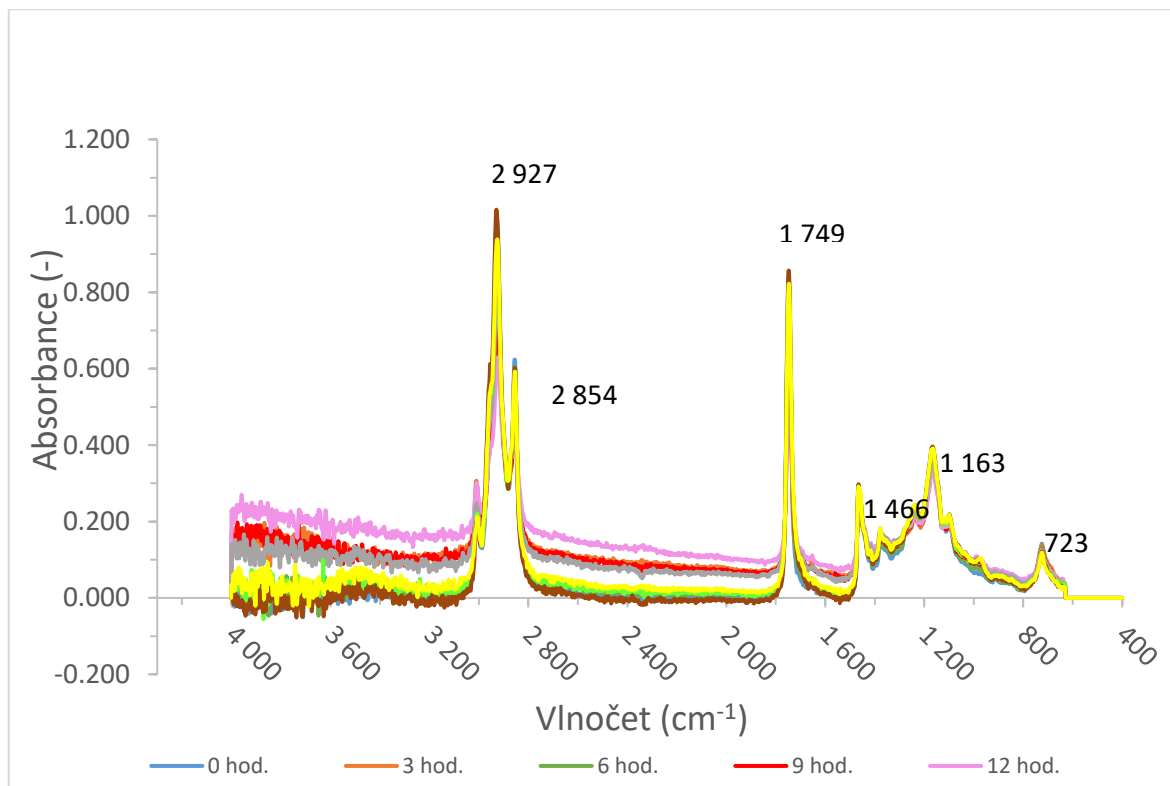
9.2.1 Výsledky FT-IR



Graf 4 FT-IR jednotlivých frakcí u olivového oleje zahříváného na 135 °C

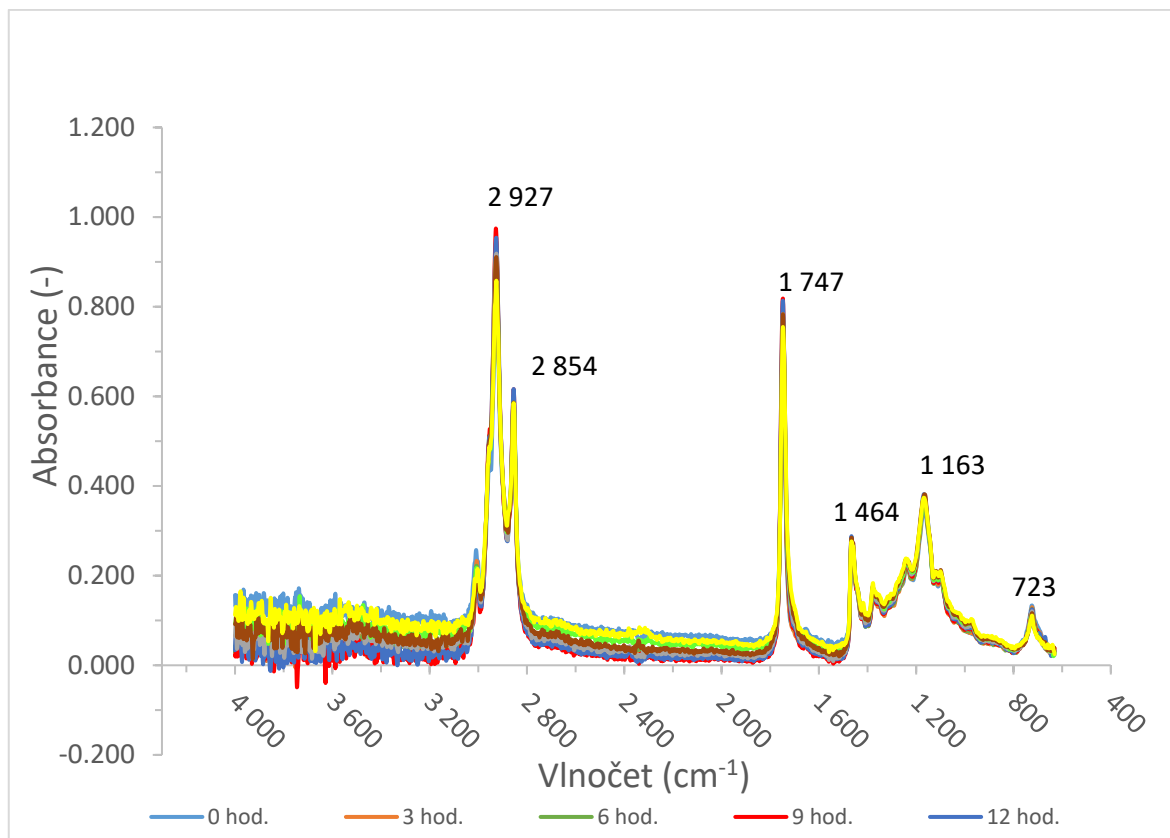
Výsledky FT-IR frakcí olivového oleje jsou zobrazeny v grafu č.4. Jak již bylo napsáno, u předchozího stanovení hodnota vlnočtu od 3008 cm⁻¹ náleží nasyceným (jednoduchým) vazbám. Hodnota vlnočtu 1685 cm⁻¹ je přiřazena dvojným vazbám a od vlnočtu 1200 cm⁻¹ se nachází oblast tzv. otisk palce oleje. Ledreau ve své studii také uvádí hodnotu vlnočtu 3464 cm⁻¹, která náleží hydroperoxidům. Jak je znázorněno v grafu během oxidace pás při 3008 cm⁻¹ po době záhřevu klesá. Naopak oblast 3535 a 3464 cm⁻¹ po určité době záhřevu roste, jelikož se zvyšuje množství hydroperoxidů i sekundárních oxidačních produktů.

Množství hydroperoxidů, které vznikají během záhřevu, je nejvyšší ze všech tří stanovovaných olejů, z čehož vyplývá, že je nejméně vhodný pro tepelnou úpravu [66].



Graf 5 FT-IR jednotlivých frakcí u slunečnicového oleje zahříváného na 150 °C

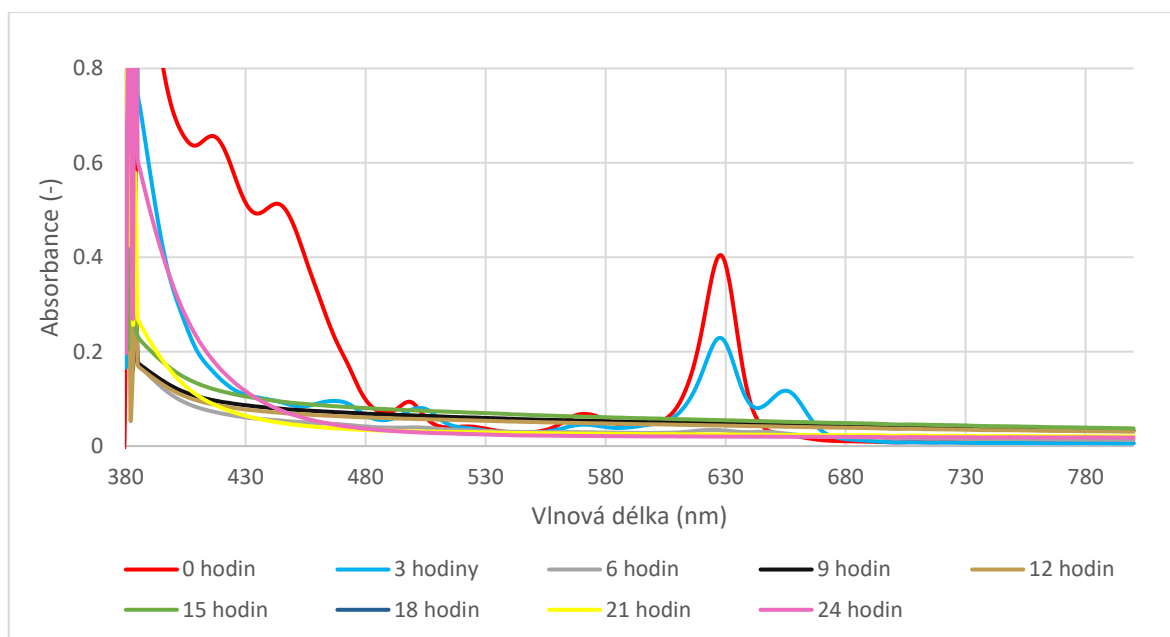
Výsledky FT-IR slunečnicového oleje jsou zobrazeny v grafu č. 5. Slunečnicový olej vykazuje podobné vlastnosti při záhřevu jako olivový olej. Obsah nenasycených vazeb se vzrůstající dobou záhřevu klesá, ale pokles není tak výrazný jako u olivového oleje. V hodnotách vlnočtu 3535 a 3464 cm^{-1} dochází také k nárůstu hydroperoxidů a sekundárních oxidačních produktů. Ale hodnoty absorbance jsou trochu nižší než u olivového oleje, z čehož vyplývá, že po tepelném záhřevu vzniká hydroperoxidů méně než u olivového oleje. Lze tedy konstatovat, že slunečnicový olej je z hlediska tepelné úpravy vhodnější [66].



Graf 6 FI-TR jednotlivých frakcí u řepkového oleje zahříváného na 150 °C

Výsledky FT-IR řepkového oleje jsou zobrazeny v grafu č. 6. Řepkový olej vykazoval nejmenší nárůst hydroperoxidů po tepelném záhřevu oleje ze všech olejů. V Oblasti 3008 cm^{-1} , kde se nachází nenasycené vazby, dochází také k poklesu hodnot, ale není tak výrazný jako například u olivového oleje. V hodnotách vlnočtu 3535 a 3464 cm^{-1} dochází k nárůstu, z čehož vyplývá, že se s dobu záhřevu zvyšuje množství hydroperoxidů, ovšem hodnoty absorbance jsou nejnižší. Lze tedy říct, že řepkový olej je nejvíce odolný proti oxidaci a tedy tvorbě hydroperoxidů a pro použití k tepelné úpravě nejvhodnější.

9.2.2 Výsledky UV-VIS spektrometrie



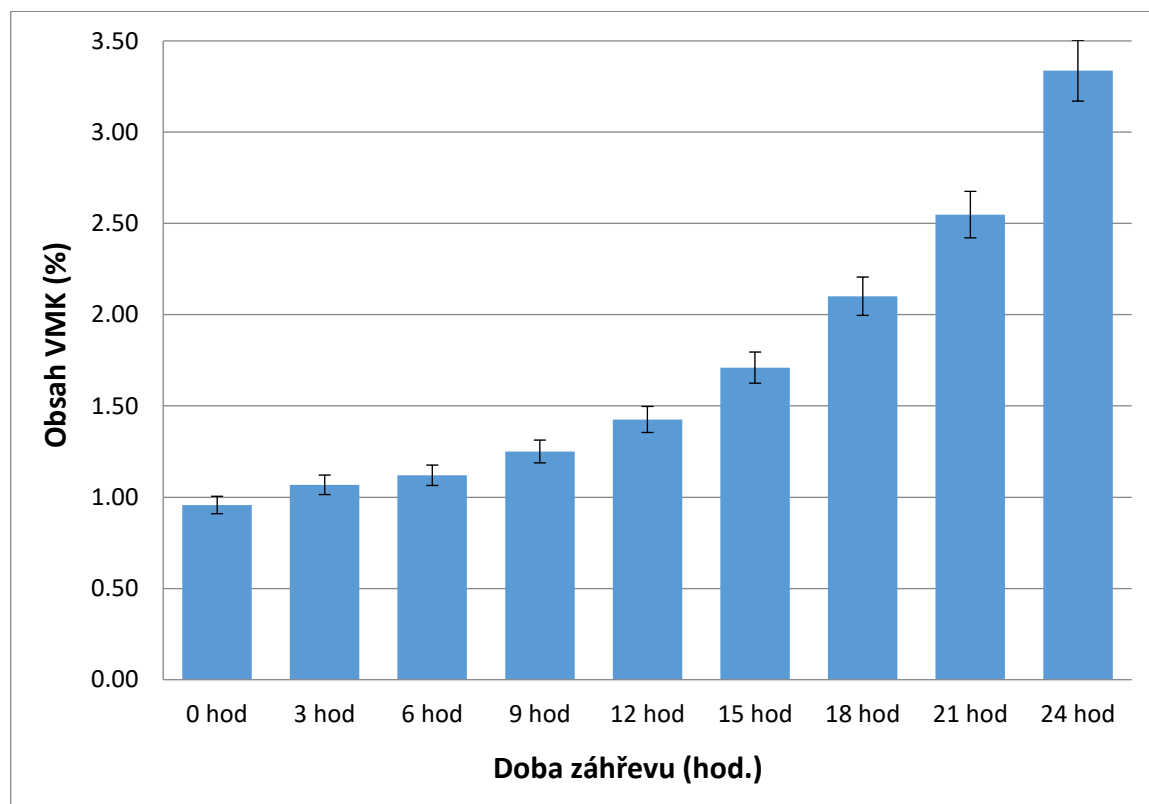
Graf 7 Závislost absorbance na vlnové délce u jednotlivých frakcí olivového oleje

Data UV-VIS spektrometrie byly získány postupem uvedeným v kapitole 8.7.1. Výsledky UV-VIS spektrometrie olivového oleje jsou zobrazeny v grafu č. 7. Jednotlivé frakce byly měřeny v rozmezí vlnových délek 200-800 nm. Vzorky byly naředěny v poměru 1:1 heptanem. Z grafu je patrné, že tepelný záhřev měl na jednotlivé složky v olivovém oleji značný vliv. Jednotlivé píky značí obsah různých látek v oleji. Nejvýraznější píky byly detekovány při 600-680 nm. Tyto píky značí obsah chlorofylu v olivovém oleji. Z grafu je patrné, že chlorofyl degradoval s přibývajícím dobou záhřevu. U nezahřívajícího vzorku dosahovala absorbance hodnoty 0,4. Po 3 hodinách záhřevu klesla hodnota absorbance u chlorofylu na hodnotu 0,2. Dále byly zaznamenány píky při 420 nm, které jasně ukazují na přítomnost tokoferolů. Z grafu můžeme vidět, že tokoferoly degradovaly již po 3 hodinách záhřevu. Po 6 hodinách záhřevu již nebyly detekovány žádné píky.

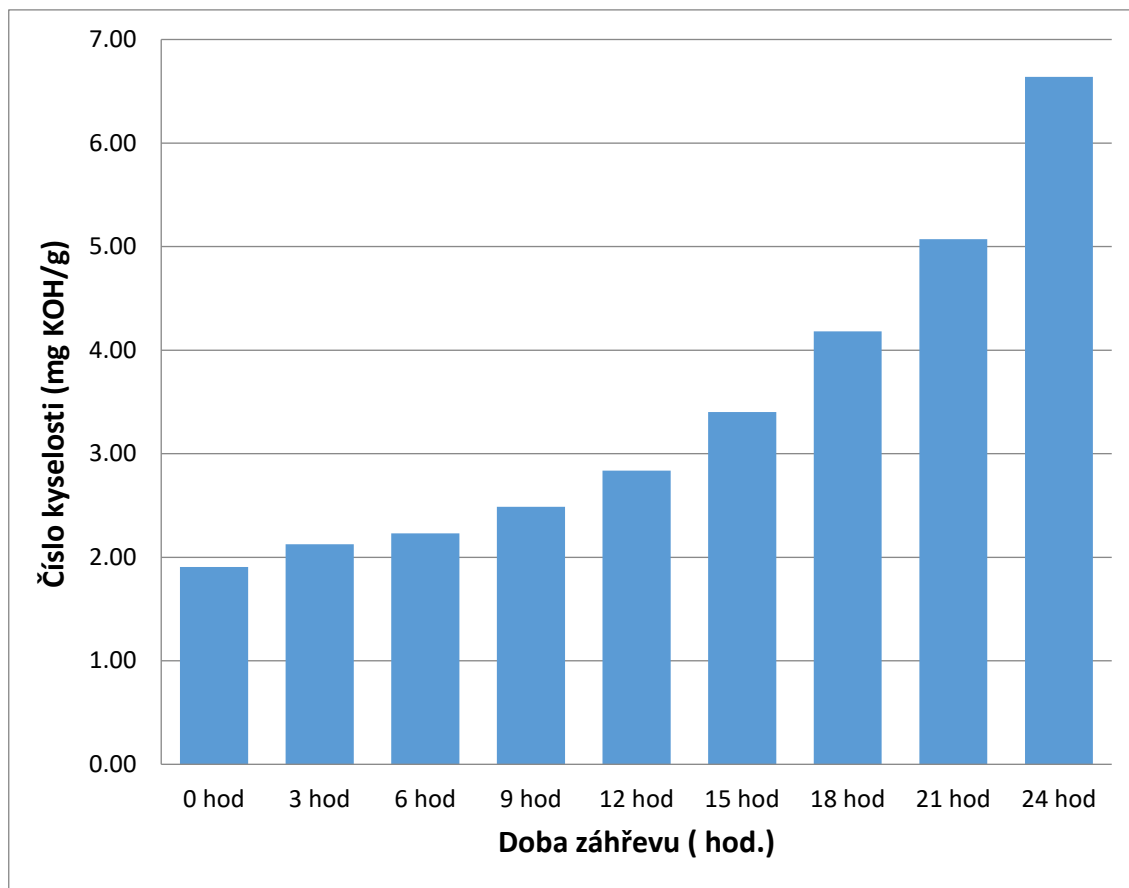
Metodou UV-VIS spektrometrie byl stanoven pouze olivový olej. Ukázalo se, že tato metoda se jeví jako nevhodná pro detekci tepelného zahřívání. Data pro slunečnicový a řepkový olej nejsou tedy v mé diplomové práci uvedeny.

9.2.3 Výsledky čísla kyselosti

Vzorky byly zpracovány postupem, který je uveden v kapitole 8.7.2

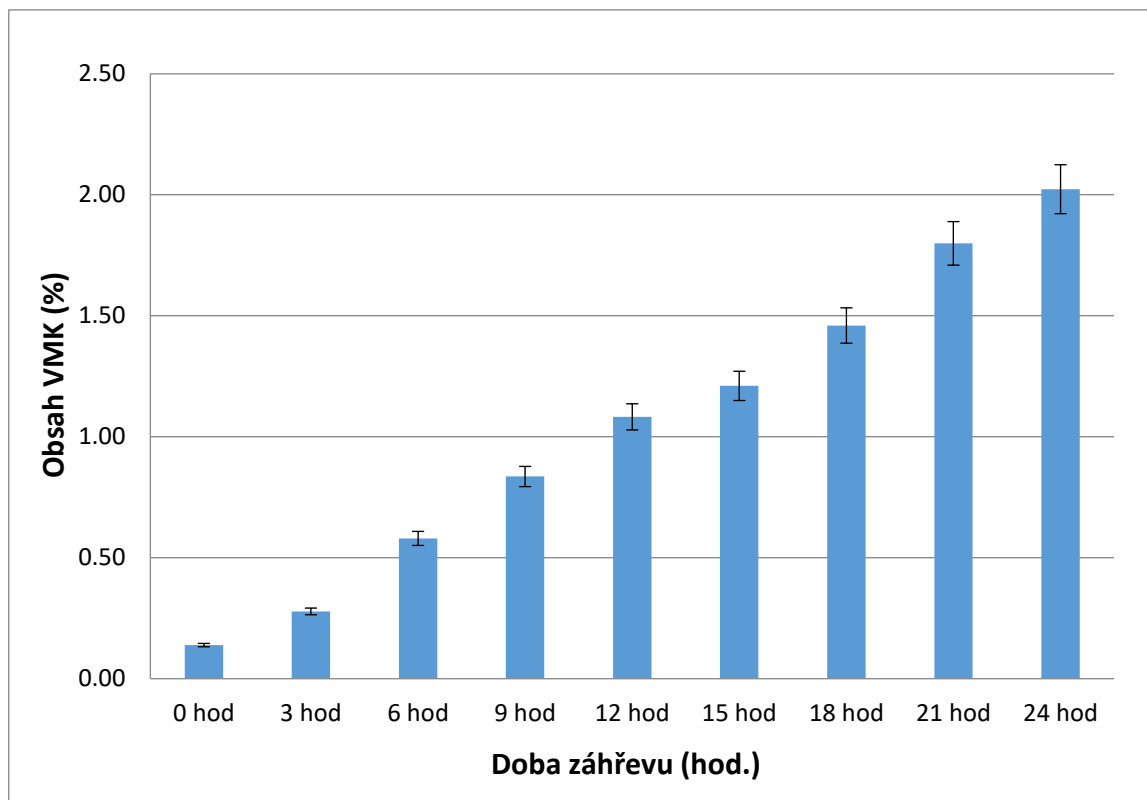


Graf 8 Obsah volných mastných kyselin u olivového oleje

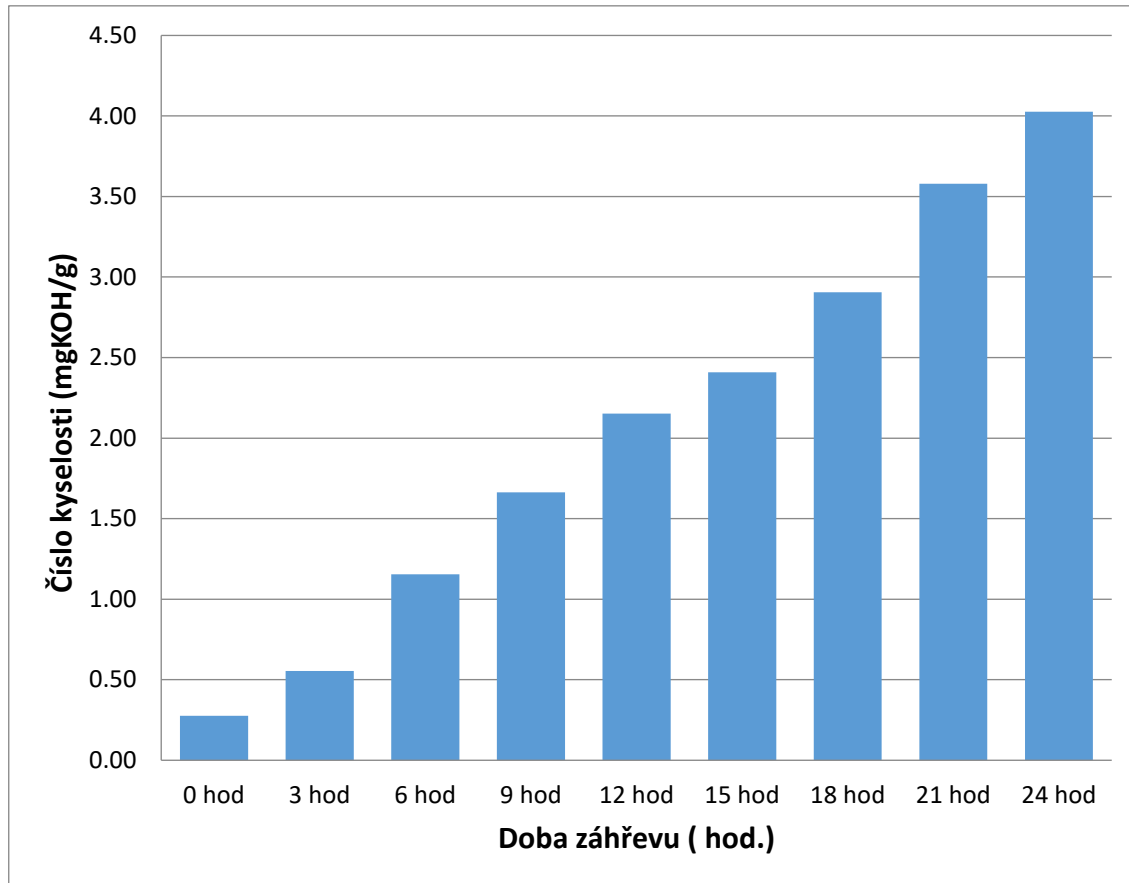


Graf 9 Číslo kyselosti olivového oleje

Výsledky čísla kyselosti olivového oleje jsou zaznamenány v grafu č.9. Obsah volných mastných kyselin i číslo kyselosti u olivového rostlo se vzrůstající dobou záhřevu zvyšovalo. Legislativa uvádí limit pro číslo kyselosti pro oleje lisované za studena max. 4,0 mg KOH/g. Legislativu tedy splňuje vzorek do 15 hod záhřevu při 130°C. Z čehož vyplývá, že vzorek, který byl zahřívám maximálně 15 hodin obsahoval přijatelné množství volných mastných kyselin. Po 18 hodinách záhřevu dosahovalo číslo kyselosti hodnoty $4,180 \pm 0,001$ mg KOH/g, tudíž překračuje hodnotu, kterou stanovuje legislativa. [88].

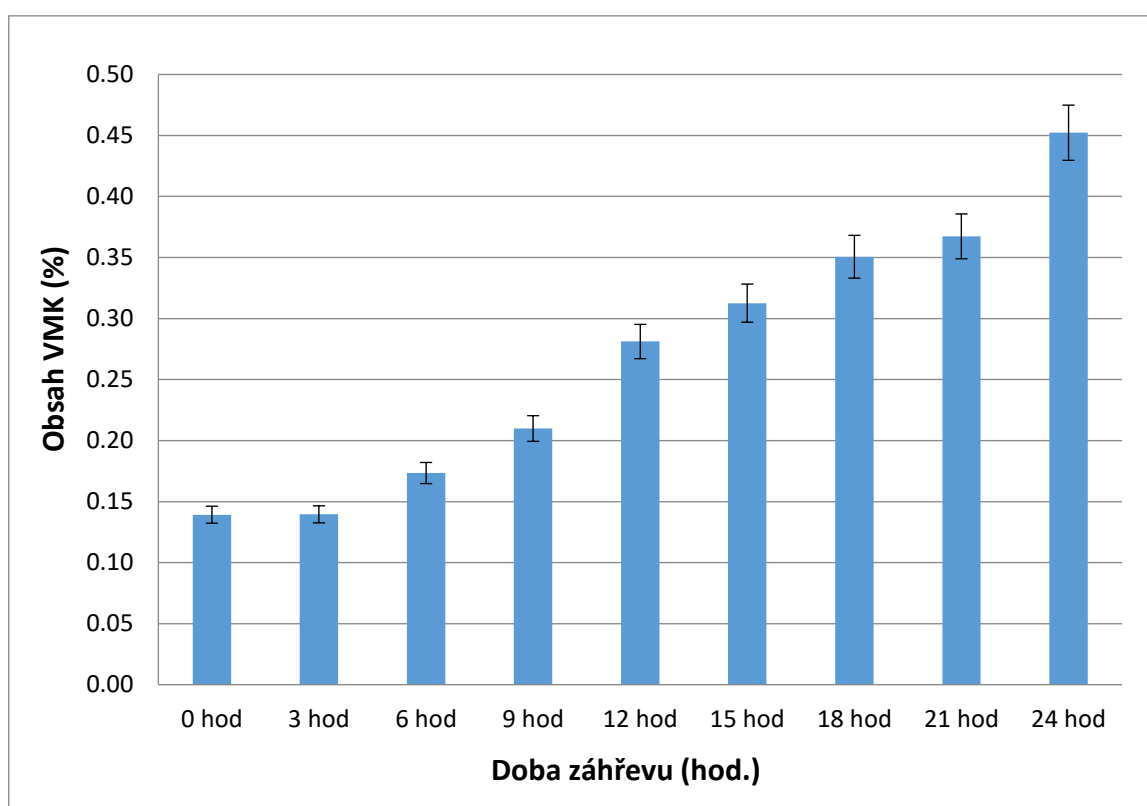


Graf 10 Obsah volných mastných kyselin u slunečnicového oleje

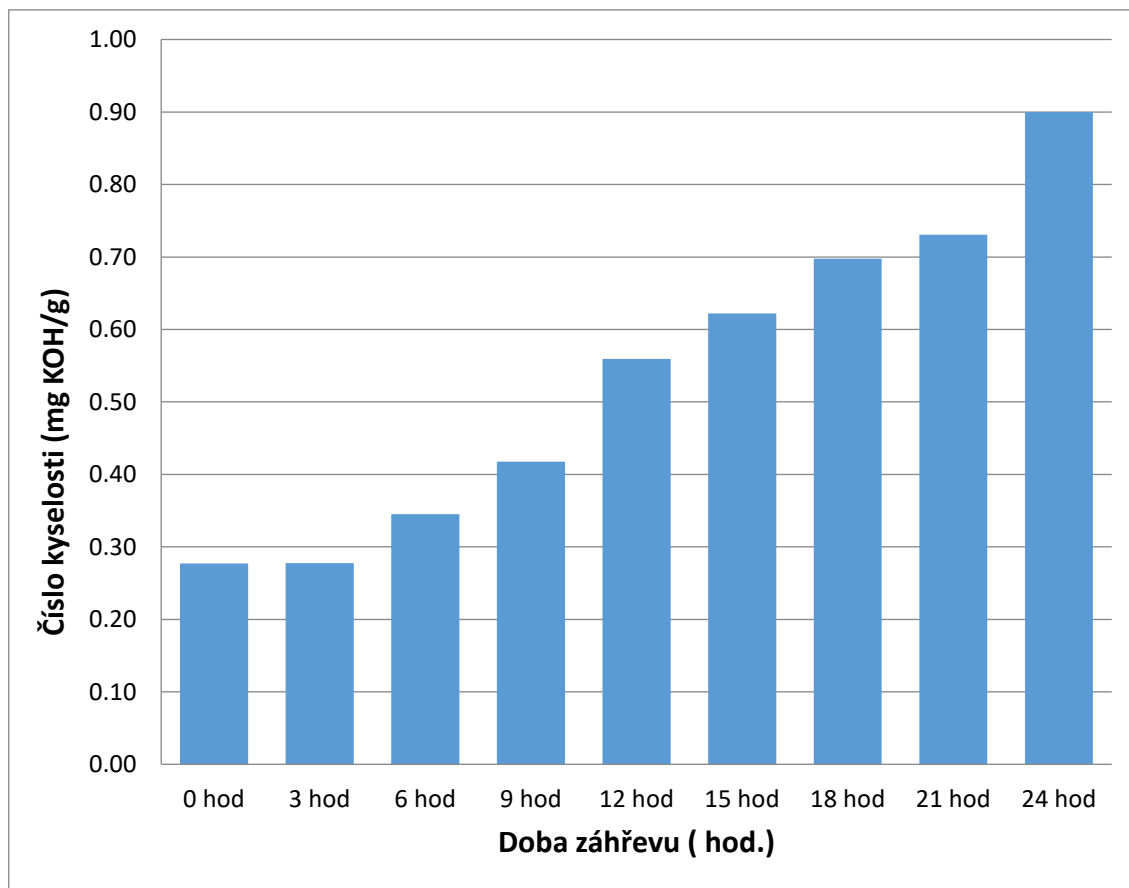


Graf 11 Číslo kyselosti slunečnicového oleje

Výsledky čísla kyselosti slunečnicového oleje jsou zaznamenány v grafu č.11. Číslo kyselosti u slunečnicového oleje mělo také stoupající trend v závislosti na době záhřevu, ovšem dosahovala mnohem nižších hodnot. U 24hodinového vzorku, dosahovala hodnota čísla kyselosti $4,030 \pm 0,001$ mg KOH/g, kdežto u olivového oleje se tato hodnota blížila 7 mg KOH/g. Legislativa uvádí limit pro číslo kyselosti v olejích na max. 0,6 mg KOH/g. Tento limit splňuje pouze nezahříváný, jehož hodnota byla $0,280 \pm 0,002$ mg KOH/g a vzorek, který byl zahříván po dobu 3 hodiny, u kterého bylo naměřena hodnota čísla kyselosti $0,550 \pm 0,002$ mg KOH/g. Všechny ostatní vzorky tento limit překračují. Z toho vyplývá, že po 3 hodinách záhřevu není tento olej ze zdravotního hlediska vhodný [88].



Graf 12 Obsah volných mastných kyseliny řepkového oleje

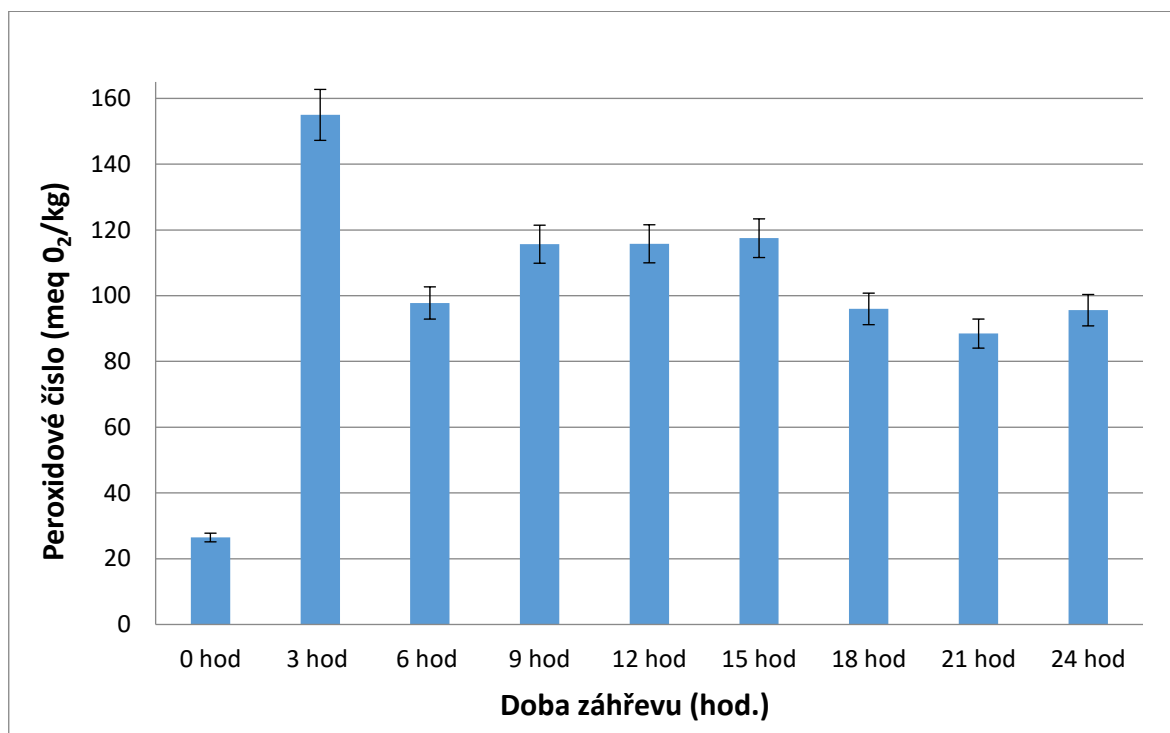


Graf 13 Číslo kyselosti řepkového oleje

Výsledky čísla kyselosti řepkového oleje jsou zaznamenány v grafu č. 13. Číslo kyselosti u řepkového oleje se zvyšuje s dobou záhřevu jako u předchozích dvou olejů. Číslo kyselosti dosahuje nejnižších hodnot ze všech tří olejů. U 24hodinového vzorku dosahuje hodnoty $0,900 \pm 0,008$ mg KOH/g. U nezahřívání oleje je hodnota shodná s hodnotou u nezahřívání slunečnicového oleje, a to $0,280 \pm 0,001$ mg KOH/g. Limit pro maximální hodnotu čísla kyselosti je stejná jako u slunečnicového oleje, a to 0,6 mg KOH/g. Tento limit splňuje řepkový olej do 12 hodin záhřevu. Hodnoty čísla kyselosti jsou u řepkového oleje výrazně nižší než u slunečnicového oleje. Lze tedy konstatovat, že řepkový olej je k tepelnému záhřevu nejvhodnější.

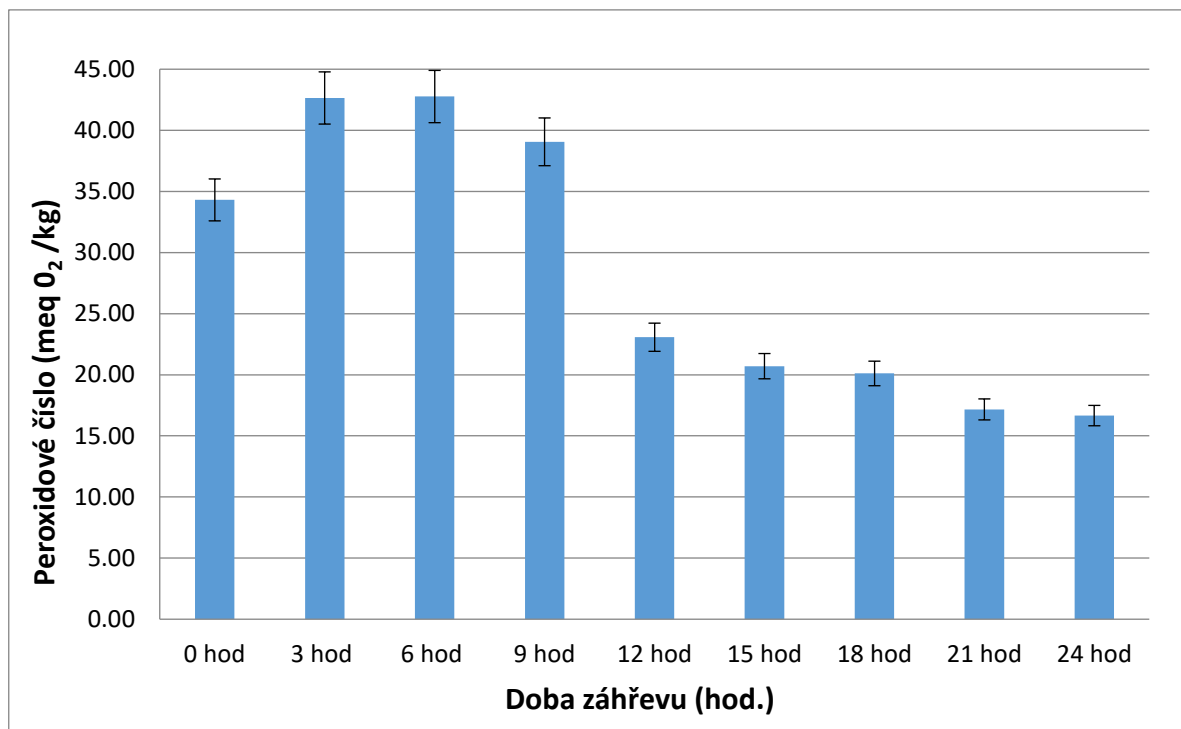
9.2.4 Výsledky peroxidového čísla

Peroxidové číslo bylo analyzováno postupem uvedeným v kapitole číslo 8.7.2.



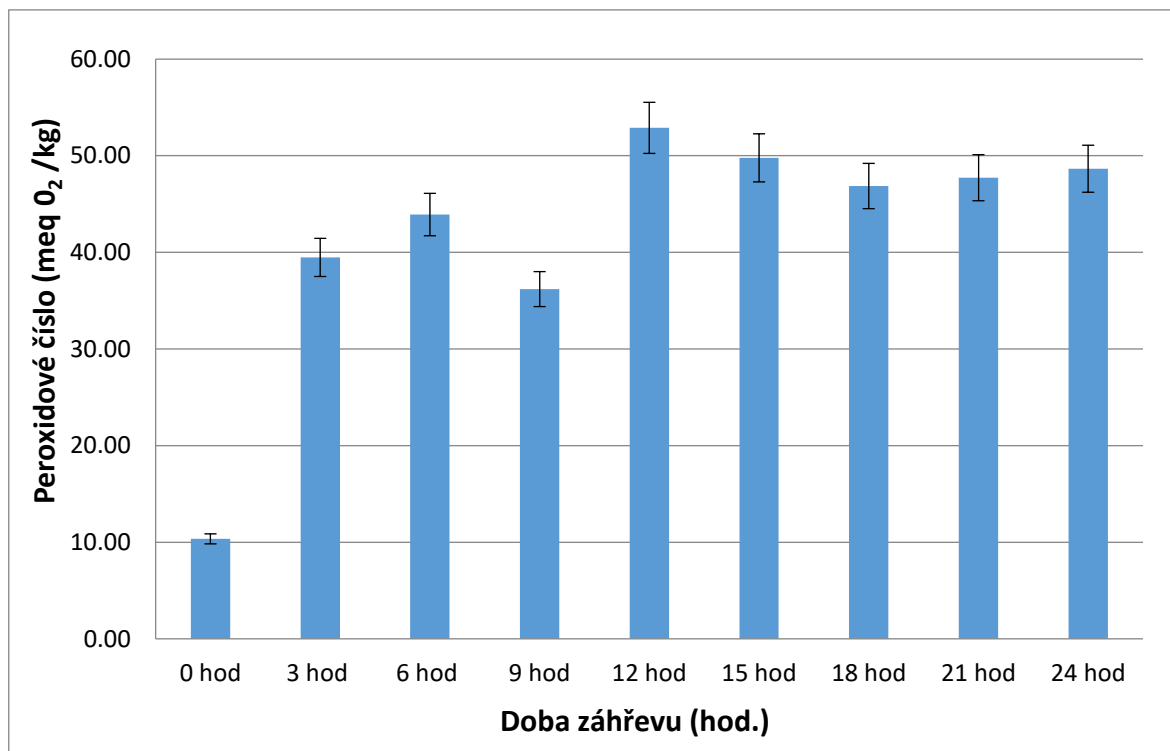
Graf 14 Peroxidové číslo olivového oleje

Výsledky peroxidového čísla olivového oleje jsou zobrazeny v grafu č. 14. Peroxidové číslo má v průběhu zahřívání velmi proměnlivý průběh. Peroxidové číslo značí množství hydroperoxidů ve vzorku oleje. Určitě množství hydroperoxidů obsahuje i nezahříváný olej, což může být způsobeno podmínkami skladování. Nejvyšší hodnota peroxidového čísla byla detekována u vzorku zahříváného 3 hodiny, a to $149,98 \pm 1,64$ meq O₂/kg. Po 3 hodinách záhřevu hodnota peroxidového čísla klesla a následně kolísala. Dawodu ve své studii uvádí, že se hydroperoxidy dalším záhřevem rozkládají na menší stabilnější fragmenty, jako jsou karbonylové sloučeniny, alkoholy a uhlovodíky. Rozklad hydroperoxidů můžeme pozorovat i z grafu námi naměřeného olivového oleje, jako pokles peroxidového čísla po 3 hodině záhřevu. Nejvyšší hodnota peroxidového čísla u olivového oleje značí nejmenší odolnost proti oxidaci. Lze tedy konstatovat, že olivový olej je nejméně vhodný k tepelnému záhřevu [89].



Graf 15 Peroxidové číslo slunečnicového oleje

Výsledky peroxidového čísla slunečnicového oleje jsou zobrazeny v grafu č. 15. U slunečnicového oleje bylo stanoveno nejvyšší peroxidové číslo po 6 hodinách záhřevu, a to $42,76 \pm 0,40$ meq O₂/kg. Od nezahřívání oleje do 6 hodin záhřevu peroxidové číslo rostlo a následně klesalo, což je zřejmě způsobeno rozkladem hydroperoxidů na stabilnější formy sloučenin, jak bylo již zmíněno u olivového oleje. Překvapivé je vysoké peroxidové číslo u nezahřívání vzorku, to může být způsobeno špatným nebo dlouhým skladováním. V legislativě je uvedena maximální hodnota peroxidového čísla v olejích na 10 meq O₂/kg, z čehož vyplývá, že tento olej obsahuje vysoké množství hydroperoxidů, a tudíž není ze zdravotního hlediska vhodný.



Graf 16 Peroxidové číslo řepkového oleje

Výsledky peroxidového čísla řepkového oleje jsou zobrazeny v grafu č. 16. Peroxidové číslo u řepkového oleje mělo velmi kolísavý trend. Nejvyšší hodnota peroxidového čísla byla naměřena při 12ti hodinách záhřevu, a to $52,89 \pm 1,42$ meqO₂/kg. Po 15 hodinách hodnoty peroxidového čísla mírně klesly a následně kolísaly zhruba kolem stejné hodnoty. U nezahřívajícího vzorku byla hodnota peroxidového čísla stanovena na $10,35 \pm 0,76$ meqO₂/kg, což z hlediska legislativy vyhovuje nejvyšší přípustné hodnotě. Po 12ti hodinách záhřevu nastal rozklad hydroperoxidů na stabilnější formy. Řepkový olej dosahuje daleko nižších hodnot peroxidového čísla než olivový olej, přesto, že poměr nasycených a nenasycených mastných kyselin je velmi podobný. Důvodem bude zřejmě proces rafinace, která proběhla u řepkového i slunečnicového oleje. Během rafinace jsou částečně odstraněny látky zhoršující oxidační stabilitu.

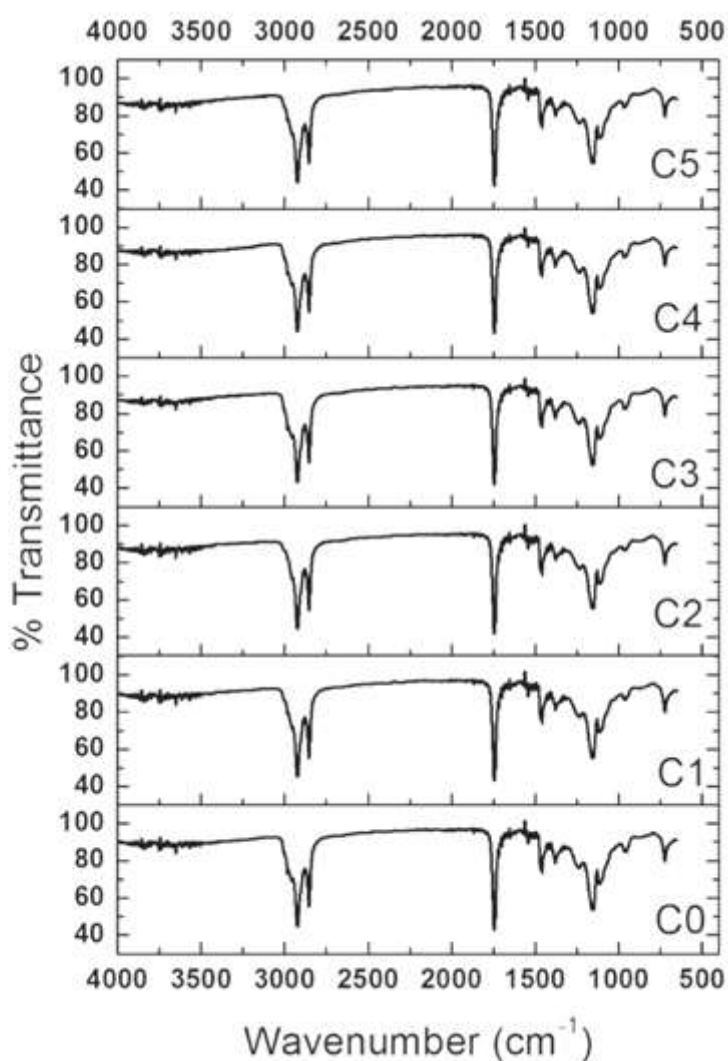
9.2.5 Statistická analýza dat

Data čísla kyselosti a peroxidového čísla byly podrobeny analýze rozptylu. Pro statistickou analýzu jednoho oleje v čase byla použita jednofaktorová ANOVA. Výsledek analýzy u všech tří olejů, a to u čísla kyselosti i u peroxidového čísla je $P < 0,005$. Z čehož vyplývá, že mezi daty jsou statisticky významné rozdíly. Dále byla použita dvoufaktorová ANOVA bez opakování, a to pro zjištění statisticky významných rozdílů mezi třemi oleji v čase odběru u

čísla kyselosti a peroxidového čísla. Výsledek u čísla kyselosti i peroxidového čísla je také $P < 0,005$, což znamená, že i mezi těmito daty jsou statisticky významné rozdíly.

9.2.6 Tepelná stabilita kokosového oleje

FT-IR kokosového oleje je uvedeno na obrázku číslo 9. Kokosový olej byl opakovaně zahříván na 170 °C. Vzorek C0 je nezahříváný olej, C5 je kokosový olej zahříván na 170 °C 5krát po sobě. Z grafů je patrné, že tepelný záhřev nemá na stabilitu kokosového oleje velký vliv [90].



Obrázek 9 FT-IR kokosového oleje [90]

Peroxidové číslo kokosového oleje bylo stanoveno po 24 hodinách záhřevu při 120 °C u surového oleje na 10 meqO₂·kg⁻¹, u rafinovaného kokosového oleje na 2,5 meqO₂·kg⁻¹. Tyto data ukazují, že kokosový olej je tepelně stabilní a nejvíce odolný proti oxidaci. Tato

skutečnost je dána složením mastných kyselin v kokosovém oleji, jelikož je složen převážně složen z nasycených mastných kyselin [91].

Číslo kyselosti u nezahřívajícího panenského kokosového oleje se pohybuje okolo 0,01 mg KOH/g vzorku [92].

ZÁVĚR

V teoretické části bylo popsáno chemické složení a vlastnosti jednotlivých olejů, význam tuků ve výživě a postup výroby těchto olejů. Byly popsány principy jednotlivých metodik pro stanovení kyselinové složení olejů a vlastnosti olejů. Cílem diplomové práce bylo sledovat vliv složení mastných kyselin na stabilitu rostlinných olejů a kakaového másla.

Studie byla provedena na deseti olejích, které byly zakoupeny v tržní síti. Plynovou chromatografií bylo stanoveno složení mastných kyselin u jednotlivých olejů. Diferenční skenovací kalorimetrií (DSC) bylo stanoveno krystalizační chování, polymorfismus a profil tání jednotlivých olejů. Výsledky ukazují, že nejnižší krystalizační chování vykazuje lněný olej, jelikož lněný olej obsahuje nejvíce nenasycených frakcí mastných kyselin, což se potvrdilo i stanovení plynovou chromatografií. Ve lněném oleji byl detekován krystalizační pík až při $-70,4$ °C. Nejvyšší teplotu krystalizace vykazoval kokosový olej a kakaové máslo, a to díky vysokému obsahu nasycených frakcí, které tyto oleje obsahují. Krystalizační píky i profil tání se pohybovaly v kladných teplotách.

Z výsledků FT-IR jsme získali informace o struktuře jednotlivých olejů, především byl znázorněn poměr nasycených a nenasycených frakcí v olejích. Tímto stanovením bylo potvrzeno, že nejvíce nenasycených frakcí obsahoval lněný olej. Nejvíce nasycených mastných kyselin obsahoval kokosový olej a kakaové máslo, což se shoduje s konzistencí těchto tuků a olejů, která je za běžných pokojových teplot tuhá.

Fluorescenční spektroskopií byly zaznamenány excitačně/emisní spektra studovaných olejů. Intenzivní buzení bylo zaznamenáno u všech olejů v oblasti excitace v rozmezí 288-360 nm, které představují obsah tokoferolů a fenolických sloučenin. U olivového oleje byl zaznamenán ještě emisní pík při 668 nm, který je připisován chlorofylu.

Následně bylo provedeno tepelné stárnutí běžně využívaných olejů (olivový, slunečnicový, řepkový) záhřevem při 135-150 °C po dobu 24 hodin, a u těchto bylo následně stanoveno UV-VIS spektrometrie, číslo kyselosti a peroxidové číslo.

U jednotlivých frakcí tepelně namáhaných olejů byly detekovány píky ve spektrech FTIR v hodnotách vlnočtu 3535 cm^{-1} a 3464 cm^{-1} , které jsou připisovány hydroperoxidům a sekundárním oxidačním produktům. Bylo zjištěno, že se vzrůstající dobou záhřevu se obsah hydroperoxidů a sekundárních oxidačních produktů zvyšoval. Největší nárůst hydroperoxidů s dobou záhřevu byl zaznamenán u olivového oleje, nejnižší nárůst těchto

látek pak u oleje řepkového. Tato skutečnost koreluje se složením mastných kyselin v těchto olejích.

Dále bylo stanoveno číslo kyselosti těchto olejů. Bylo zjištěno, že číslo kyselosti se zvyšovalo s dobou záhřevu. Nejvyšší číslo kyselosti bylo stanoveno u olivového oleje, nejnižší číslo kyselosti bylo stanoveno u řepkového oleje. Po 24 hodinách záhřevu bylo stanoveno číslo kyselosti u olivového oleje na $6,64 \pm 0,06$ mg KOH/g, u řepkového $0,900 \pm 0,008$ mg KOH/g.

Peroxidové číslo je ukazatelem obsahu hydroperoxidů ve vzorku a má velmi proměnlivý průběh, jelikož po určité době záhřevu hydroperoxydy degradují na sekundární produkty. Nejvyšší hodnotu peroxidového čísla vykazoval olivový olej ($95,6 \pm 1,9$ meq O₂/kg po 24 hodinách záhřevu) a nejnižší řepkový olej ($48,7 \pm 0,1$ meq O₂/kg po 24 hodinách záhřevu).

UV-VIS spektrometrie byla stanovena pouze u olivového oleje. Pro ostatní dva oleje se tato metoda jevila velmi málo citlivá a složky se nepodařilo detekovat. Nejintenzivnější píky byly detekovány při 600–680 nm, tyto píky náleží chlorofylu, který s dobou záhřevu degradoval. Po 3 hodinách záhřevu nebyl pík pro chlorofyl již detekován. Dále byly zaznamenány píky při 420 nm, které jasně ukazují na přítomnost tokoferolů, které degradovaly po 3 hodinách záhřevu.

Složení mastných kyselin na tepelnou stabilitu olejů má značný vliv, a to především poměr nasyčených a nenasycených mastných kyselin. Nenasycené mastné kyseliny snadněji podléhají oxidaci a přetváří se na zdraví škodlivé látky. Bylo prokázáno, že olivový olej je nejméně tepelně stabilní, a naopak řepkový olej nejvíce, a to i přes skutečnost, že oba oleje mají obsah nasyčených a nenasycených mastných kyselin velmi podobný, rozdíl je v procesu rafinace, který se používá při výrobě řepkového oleje. Při rafinaci byly z oleje odstraněny látky zhoršující tepelnou stabilitu. Lze tedy konstatovat, že řepkový olej je ze všech tří zkoumaných olejů nejvíce stabilní proti oxidaci a nejvhodnější ke smažení pokrmů. Kokosový olej obsahuje převážně nasyčené mastné kyseliny, a proto předpokládáme, že je ještě tepelně stabilnější než řepkový olej.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin*. Tábor: OSSIS, 1999. ISBN 80-902391-3-7.
- [2] HOZA, Ignác. *Potravinářská biochemie I*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. ISBN 978-80-7318-936-5.
- [3] BLATTNÁ, Jarmila. *Výživa na začátku 21. století, aneb, O výživě aktuálně a se zárukou*. Praha: Společnost pro výživu, 2005. ISBN 8023962027.
- [4] KOOLMAN, Jan a Klaus-Heinrich RÖHM. *Barevný atlas biochemie*. Praha: Grada, 2012. ISBN 9788024729770.
- [5] HOZA, Ignác, Daniela SUMCZYNSKI a Pavel BUDINSKÝ. *Potravinářská biochemie I.: pro studenty kombinované formy studia*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. ISBN 8073184958.
- [6] POKORNÁ, Iveta., FILIP, Vladimír. *Olivový olej. Výživa a potraviny*, 2007, roč. 62, č. 6, s. 142–144.
- [7] GUNSTONE, F. D. *Vegetable oils in food technology: composition, properties, and uses*. Boca Raton: CRC Press, c2002. ISBN 0-8493-2816-0.
- [8] BOSKOU, Dimitrios a Maria Lisa CLODOVEO, ed. *Products from Olive Tree* [online]. InTech, 2016 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.5772/61902. ISBN 978-953-51-2724-6.
- [9] DUBOIS, Virginie, Sylvie BRETON, Michel LINDER, Jacques FANNI a Michel PARMENTIER. Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. *European Journal of Lipid Science and Technology* [online]. 2007, **109**(7), 710-732 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1002/ejlt.200700040. ISSN 14387697. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ejlt.200700040>
- [10] GUNSTONE, F. D. *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, c2011. ISBN 978-1-4443-3268-1.
- [11] PELIKÁN, Miloš a Lenka SÁKOVÁ. *Jakost a zpracování rostlinných produktů*. České Budějovice: Jihočeská universita, 2001. ISBN 80-7040-502-3.
- [12] THOMASSON, H. J. a J. BOLDINGH. The Biological Value of Oils and Fats. *The Journal of Nutrition* [online]. 1955, **56**(4), 469-475 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1093/jn/56.4.469. ISSN 0022-3166. Dostupné z: <https://academic.oup.com/jn/article/56/4/469-475/4721954>

- [13] MAT DIAN, Noor Lida Habi, Kalyana SUNDRAM a Nor Aini IDRIS. DSC study on the melting properties of palm oil, sunflower oil, and palm kernel olein blends before and after chemical interesterification. *Journal of the American Oil Chemists' Society* [online]. 2006, **83**(8), 739-745 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1007/s11746-006-5032-z. ISSN 0003021X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1007/s11746-006-5032-z>
- [14] OŠTÁDALOVÁ, Martina a Jana POKORNÁ. *Hygiena a technologie brambor, škrobu, luštěnin, olejnatých semen a tuků*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. ISBN 978-80-7305-709-1.
- [15] BAILEY, Alton Edward a Fereidoon SHAHIDI. *Bailey's industrial oil & fat products: edited by Fereidoon Shahidi*. 6th ed. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2005. ISBN 978-0-471-38460-1.
- [16] O'BRIEN, Richard D. *Fats and oils: formulating and processing for applications*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2004. ISBN 0-8493-1599-9.
- [17] WEI, Wenliang, Xiaoqiong QI, Linhai WANG, Yanxin ZHANG, Wei HUA, Donghua LI, Haixia LV a Xiurong ZHANG. Characterization of the sesame (*Sesamum indicum* L.) global transcriptome using Illumina paired-end sequencing and development of EST-SSR markers. *BMC Genomics* [online]. 2011, **12**(1) [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1186/1471-2164-12-451. ISSN 1471-2164. Dostupné z: <http://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2164-12-451>
- [18] AHMAD, Zeeshan. The uses and properties of almond oil. *Complementary Therapies in Clinical Practice* [online]. 2010, **16**(1), 10-12 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1016/j.ctcp.2009.06.015. ISSN 17443881. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1744388109000772>
- [19] KUSMIREK, Jan. *Tekuté slunce: rostlinné oleje pro masáže, aromaterapii, kosmetiku a výživu*. Přeložil Viola SOMOGYI, přeložil Oldřich VYHNÁLEK. Praha: One Woman Press, 2005. ISBN 80-86356-41-8.
- [20] KHAN, I. A. a Ehab A. ABOURASHED. *Leung's encyclopedia of common natural ingredients: used in food, drugs, and cosmetics*. 3rd ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, c2010. ISBN 978-0-471-46743-4.
- [21] MEST, H.-J., J. BEITZ, I. HEINROTH, H.-U. BLOCK a W. FÜRSTER. The influence of linseed oil diet on fatty acid pattern in phospholipids and thromboxane formation in

platelets in man. *Klinische Wochenschrift* [online]. 1983, **61**(4), 187-191 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1007/BF01488973. ISSN 0023-2173. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF01488973>

[22] MILLS, John S. a Raymond WHITE. *The organic chemistry of museum objects*. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1994. ISBN 0750616938.

[23] PONTOH, Julius. Gas Chromatographic Analysis of Medium Chain Fatty Acids in Coconut Oil. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research* [online]. 2016, **5**(3), 157-161 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.21776/ub.jpacr.2016.005.03.255. ISSN 23024690. Dostupné z: <http://jpacr.ub.ac.id/index.php/jpacr/article/view/255/pdf>

[24] MOIGRADEAN, Diana, et al. Quantitative identification of fatty acids from walnut and coconut oils using GC-MS method. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2013, 19.4: 459-463.

[25] LIPP, M a E ANKLAM. Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate—Part B. Analytical approaches for identification and determination. *Food Chemistry* [online]. 1998, **62**(1), 99-108 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1016/S0308-8146(97)00161-1. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814697001611>

[26] MURRAY, Robert K. *Harperova Biochemie*. 23. vyd., (4. české vyd.), v H & H 3. Jinočany: H & H, 2002. Lange medical book. ISBN 80-7319-013-3.

[27] KUBÁŇ, Vlastimil a Petr KUBÁŇ. *Analýza potravin*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-036-7.

[28] VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie*. 2. opr. vyd. Praha: Academia, 1996. ISBN 80-200-0600-1.

[29] MATOUŠ, Bohuslav. *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha: Galén, c2010. ISBN 978-80-7262-702-8.

[30] GUTIÉRREZ, F; FERNÁNDEZ, J L. Determinant Parameters and Components in the Storage of Virgin Olive Oil. Prediction of Storage Time Beyond Which the Oil is No Longer of "Extra" Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, Vol. 50(3), Pp. 571-7. 2002, vol. 50, no. 3 s. 571-577. ISSN:0021-8561

- [31] MORELLO, J-R, MOTILVA, M-J. TOVAR, M-J. ROMERO, M-P. Changes in CommercialVirginOliveOil (CvArbequina) DuringStorage, withSpecialEmphasis on thePhenolicFraction. *Food Chemistry*. 2004, vol. 85, no. 3 s. 357-364. ISSN:0308-8146.
- [32] MORELLO, J-R, MOTILVA, M-J. TOVAR, M-J. ROMERO, M-P. Changes in CommercialVirginOliveOil (CvArbequina) DuringStorage, withSpecialEmphasis on thePhenolicFraction. *Food Chemistry*. 2004, vol. 85, no. 3 s. 357-364. ISSN:0308-8146.
- [33] KADLEC, Pavel. *Technologie potravin*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002. ISBN 80-7080-510-2.
- [34] STEINHAUSER, Ladislav. *Hygiena a technologie masa*. Brno: LAST, 1995. ISBN 80-900-2604-4.
- [35] U.S. EPA. *IRIS Toxicological Review of Acrolein (2003 Final)*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2003.
- [36] CHU, Michael. Smoke Points of Various Fats. In: *Cooking for engineers* [online].2004
- [37] ORSAVOVA, Jana, Ladislava MISURCOVA, Jarmila AMBROZOVA, Robert VICHA a Jiri MLCEK. Fatty Acids Composition of Vegetable Oils and Its Contribution to Dietary Energy Intake and Dependence of Cardiovascular Mortality on Dietary Intake of Fatty Acids. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2015, **16**(12), 12871-12890 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.3390/ijms160612871. ISSN 1422-0067. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1422-0067/16/6/12871>
- [38] CHOW, Ching Kuang. *Fatty acids in foods and their health implications*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, c2008. Food science and technology (Taylor & Francis). ISBN 9780849372612.
- [39] BOSKOU, Dimitrios a I. ELMADFA. *Frying of food: oxidation, nutrient and non-nutrient antioxidants, biologically active compounds and high temperatures, second edition*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2011. ISBN 978-1439806821.
- [40] CHEN, Alex F., Dan-Dan CHEN, Andreas DAIBER, Frank M. FARACI, Huige LI, Christopher M. REMBOLD a Ismail LAHER. Free radical biology of the cardiovascular system. *Clinical Science* [online]. 2012, **123**(2), 73-91 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1042/CS20110562. ISSN 0143-5221.
- [41] ERICKSON, Michael D. *Deep frying: chemistry, nutrition, and practical applications*. 2nd ed. Urbana, Ill.: AOCS Press, c2007. ISBN 978-1893997929.

- [42] RÉBLOVÁ, Zuzana, PERNÁ, Tereza. Představují tuky a oleje po smažení zdravotní riziko?. *Chemické listy*. 2013, 107, 271-276
- [43] ŠÍCHO, Vladislav, Zdeněk VODRÁŽKA a Blanka KRÁLOVÁ. *Potravinářská biochemie: ... učebnice pro vysoké školy chemickotechnologické*. 2., dopln. a přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [44] HERNANDEZ, Ernesto a Afaf KAMAL-ELDIN. Processing and nutrition of fats and oils. Chichester, West Sussex, UK: IFT Press, Wiley Blackwell, 2013, 1 online zdroj (x, 266 stran). IFT Press series. ISBN 978-1-1185-2876-1.
- [45] ZAJÍC, Jiří., BAREŠ Milan. *Chemie a technologie tuků*. Vyd. 1. Praha: MON, 1988, 244 s.
- [46] POKORNÝ, Jan, Dubská LUDMILA a Jiří ČMOLÍK. *Technologie tuků*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1986.
- [47] BAILEY, Alton Edward a Fereidoon SHAHIDI. *Bailey's industrial oil & fat products: edited by Fereidoon Shahidi*. 6th ed. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2005. ISBN 978-0-471-38460-1.
- [48] DUDÁŠ, František. *Skladování a zpracování rostlinných výrobků*. Praha: SZN, 1981. Rostlinná výroba (Státní zemědělské nakladatelství).
- [49] ULLRICH, Ladislav. *Chémia a technológia jedlých tukov a olejov*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1963. Edícia potravinárskej literatúry (Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry).
- [50] HRABĚ, Jan a Aleš KOMÁR. *Technologie, zbožíznalství a hygiena potravin*. Vyškov: VVŠ PV, 2003. ISBN 80-7231-107-7.
- [51] KRAJČOVÁ, Jitka. *Zbožíznalství*. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola hotelová v Praze 8, 2007. ISBN 9788086578682
- [52] FARR, Walter E. a Andrew PROCTOR. *Green vegetable oil processing*. Revised first edition. Urbana, Illinois: AOCS Press, [2014]. ISBN 978-0-9888565-3-0.
- [53] Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91232993/2701391902g4.pdf/3a93733e-1a9a-4c60-8991->

[ce3d59df66db?redirect=https%3A%2F%2Fwww.czso.cz%2Fcsu%2Fczso%2Fzemedelstvi%2Fzem%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p](https://www.czso.cz/fcsu/fczso/zemedelstvi/zem%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p)

[54] FOSTER, R.; WILLIAMSON, C. S.; LUNN, J. BRIEFING PAPER: Culinary oils and their health effects. *Nutrition Bulletin*, 2009, 34.1: 4-47.

[55] FEDIOL. Selected world statistics summarised in graphics. [Online][Citace 31.3.2020]dostupné

z: <https://www.fediol.eu/web/2018/1011306087/list1187970187/f1.html>

[56] Vyhláška MZe č. 329/1997 Sb., kterou se stanoví požadavky pro škrob a výrobky ze škrobu, luštěniny a olejnatá semena.

[57] Vyhláška MZe č. 397/2016 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje.

[58] KROFTA, Jiří. *Návody pro laboratorní cvičení z analytické chemie II*. 5. přeprac. a rozš. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1997. ISBN 80-7080-301-0.

[59] KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. 2., upr. a dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003. ISBN 80-863-6907-2.

[60] CHRISTIE, W. W., "Preparation of ester derivatives of fatty acids for chromatographic analysis." (1993).

[61] Domovská stránka Vysoké školy chemicko-technologické v Praze - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Domovská stránka Vysoké školy chemicko-technologické v Praze - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [online]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/>

[62] The Photochemistry Portal | Principles, Applications and Experimentation in Modern Photochemistry. The Photochemistry Portal | Principles, Applications and Experimentation in Modern Photochemistry [online]. Dostupné z: <https://photochemistry.wordpress.com/>

[63] GALLAGHER, Patrick K., Michael E. BROWN a Richard B. KEMP. *Handbook of thermal analysis and calorimetry*. New York: Elsevier, 2003. ISBN 978-044-4820-853.

[64] BEHLAU, L. & WIDMANN, G. (2003). Collected Applications: Thermal Analysis. Food Handbook. Mettler-Toledo.

[65] ROEGES, Noel P. G. *A guide to the complete interpretation of infrared spectra of organic structures*. New York: Wiley, c1994. ISBN 978-0-471-93998-6.

- [66] LEDREAU, Y, N DUPUY, J ARTAUD, D OLLIVIER a J KISTER. Infrared study of aging of edible oils by oxidative spectroscopic index and MCR-ALS chemometric method. *Talanta* [online]. 2009, **77**(5), 1748-1756 [cit. 2020-04-01]. DOI: 10.1016/j.talanta.2008.10.012. ISSN 00399140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0039914008007364>
- [67] ROUESSAC, Francis a Annick ROUESSAC. *Chemical analysis: modern instrumentation methods and techniques*. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2007. ISBN 978-0-470-85902-5.
- [68] Principy fluorescenční spektrometrie [online]. [cit. 1. 4. 2020]. Dostupné z: <http://psych.lf1.cuni.cz/fluorescence/soubory/principy.htm>
- [69] GONÇALVES, Rhayanna P., Paulo H. MARÇO a Patrícia VALDERRAMA. Thermal edible oil evaluation by UV–Vis spectroscopy and chemometrics. *Food Chemistry* [online]. 2014, **163**, 83-86 [cit. 2020-04-01]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.109. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S03088146140068>
- [70] [MCMURRY, John. *Organická chemie*. V Brně: VUTIUM, 2007. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-3291-8., ČERVINKA, Otakar a kolektiv. *Mechanismy organických reakcí*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1976, 483 s.
- [71] KAŠPÁRKOVÁ, Věra, Analýza methylesterů mastných kyselin pomocí plynové chromatografie, Laboratorní návod, *Chemie a technologie tuků II*, FT UTB ve Zlíně., KAŠPÁRKOVÁ, Věra, Příprava methylesterů mastných kyselin stanovení konjugovaných mastných kyselin, Laboratorní návod, *Chemie a technologie tuků II*, FT UTB ve Zlíně.,
- [72] CHRISTIE, William W. Preparation of ester derivatives of fatty acids for chromatographic analysis. *Advances in Lipid Methodology*, aktualizováno 18. 7. 2011, AOCs Library <http://lipidlibrary.aocs.org/Analysis/content.cfm?ItemNumber=40374>. [online 8. 11. 2016]., Norma ISO 12966-2:2012; Živočišné a rostlinné tuky a oleje – Plynová chromatografie methylesterů mastných kyselin, Část 2: Příprava methylesterů mastných kyselin.
- [73] HOUSECROFT, Catherine E. a A. G. SHARPE. *Anorganická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014. ISBN 978-80-7080-872-6.]

[74] ZHANG, Wenle, Na LI, Yuyan FENG, Shujun SU, Tao LI a Bing LIANG. A unique quantitative method of acid value of edible oils and studying the impact of heating on edible oils by UV–Vis spectrometry. *Food Chemistry* [online]. 2015, **185**, 326-332 [cit. 2020-02-29]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.005. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814615005361>,]

[75] ČSN EN ISO 660 (588756). *Živočišné a rostlinné tuky a oleje - Stanovení čísla kyselosti a kyselosti. Úřad pro metrickou normalizaci a státní zkušebnictví*, (2015).

[76] ČSN EN ISO 3960. *Živočišné a rostlinné tuky a oleje - Stanovení peroxidového čísla - Jodometrické (vizuální) stanovení koncového bodu*, (2010).

[77] DANISH, Mohammed a Maniruddin NIZAMI. Complete fatty acid analysis data of flaxseed oil using GC-FID method. *Data in Brief* [online]. 2019, **23** [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1016/j.dib.2019.103845. ISSN 23523409. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S23523409193019>

[78] KATSOYANNOS, E., A. BATRINO, A. CHATZILAZAROU, S. M. BRATAKOS, K. STAMATOPOULOS a V. J. SINANOGLU. Quality parameters of olive oil from stoned and nonstoned Koroneiki and Megaritiki Greek olive varieties at different maturity levels. *Grasas y Aceites* [online]. 2015, 66(1) [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.3989/gya.0711142. ISSN 1988-4214. Dostupné z: <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/1532/1684>

[79] OLLIVIER, Denis, Jacques ARTAUD, Christian PINATEL, Jean Pierre DURBEC a Michel GUÉRÈRE. Triacylglycerol and Fatty Acid Compositions of French Virgin Olive Oils. *Characterization by Chemometrics. Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2003, 51(19), 5723-5731 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.1021/jf034365p. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf034365p>

[80] WEBER, Nikolaus, Irmgard KIEWITT a Kumar D. MUKHERJEE. Modulation of brain lipids of rats by various dietary oils: Sunflower, high-oleic sunflower, olive, rapeseed or coriander oil. *Nutrition Research* [online]. 1999, **19**(7), 997-1007 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.1016/S0271-5317(99)00060-3. ISSN 02715317. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S027153179>

[81] NOOR LIDA, H. M. D., K. SUNDRAM, W. L. SIEW, A. AMINAH a S. MAMOT. TAG composition and solid fat content of palm oil, sunflower oil, and palm kernel olein belends before and after chemical interesterification. *Journal of the American Oil Chemists'*

Society [online]. 2002, **79**(11), 1137-1144 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.1007/s11746-002-0617-0. ISSN 0003021X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1007/s11746-002-0617-0>

[82] GUNSTONE, F. D. *Vegetable oils in food technology: composition, properties, and uses*. Boca Raton: CRC Press, c2002. ISBN 978-0849328169.

[83] GUNSTONE, F. D., John L. HARWOOD a Albert J. DIJKSTRA. *The lipid handbook with CD-ROM*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, c2007. ISBN 978-0-8493-9688-5.

[84] MARTY-TERRADE, Stéphanie a Alejandro G. MARANGONI. Impact of Cocoa Butter Origin on Crystal Behavior. *Cocoa Butter and Related Compounds* [online]. Elsevier, 2012, 2012, s. 245-274 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.1016/B978-0-9830791-2-5.50014-1. ISBN 9780983079125. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780983079125500141>

[85] KADIVAR, Sheida, Nathalie DE CLERCQ, Sabine DANTHINE a Koen DEWETTINCK. Crystallization and polymorphic behavior of enzymatically produced sunflower oil based cocoa butter equivalents. *European Journal of Lipid Science and Technology* [online]. 2016, **118**(10), 1521-1538 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.1002/ejlt.201500267. ISSN 14387697. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ejlt.201500267>

[86] YUAN, Yuan-Yuan, Shu-Tao WANG, Jun-Zhu WANG, Qi CHENG, Xi-Jun WU a De-Ming KONG. Rapid detection of the authenticity and adulteration of sesame oil using excitation-emission matrix fluorescence and chemometric methods. *Food Control* [online]. 2020, **112** [cit. 2020-04-14]. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107145. ISSN 09567135. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095671352020107145>

[87] SIKORSKA, Ewa, Igor KHMELINSKII a Marek SIKORSKI. Analysis of Olive Oils by Fluorescence Spectroscopy: Methods and Applications. BOSKOU, Dimitrios, ed. *Olive Oil - Constituents, Quality, Health Properties and Bioconversions* [online]. InTech, 2012, 2012-02-01 [cit. 2020-04-14]. DOI: 10.5772/30676. ISBN 978-953-307-921-9. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/olive-oil-constituents-quality-health-properties-and-bioconversions/analysis-of-olive-oils-by-fluorescence-spectroscopy-methods-and-applications>

[88] Provdádcí nařízení Komise (EU) 2019/1604 ze dne 27. září 2019, kterým se mění nařízení (EHS) č. 2568/91 o charakteristikách olivového oleje a olivového oleje z pokrutin a o příslušných metodách analýzy

[89] DAWODU, Modupe O., Godwin O. OLUTONA a Samuel O. OBIMAKINDE. Effect of Temperature on the Chemical Characteristics of Vegetable Oils Consumed in Ibadan, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition* [online]. 2015, **14**(10), 698-707 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.3923/pjn.2015.698.707. ISSN 16805194. Dostupné z: <http://www.scialert.net/abstract/?doi=pjn.2015.698.707>

[90] RAJ, Vimal, S SOUMYA, M S SWAPNA a S SANKARARAMAN. Nondestructive evaluation of heat trap mechanism in coconut oil—a thermal lens study. *Materials Research Express* [online]. 2018, **5**(11) [cit. 2020-04-02]. DOI: 10.1088/2053-1591/aadcea. ISSN 2053-1591. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/2053-1591/5/i=11/a=115504?key=crossref.521039669b96d1c32a2da1ab09a19377>

[91] ELODIO-POLICARPO1, Fabola, PEÑALOZA-HERRERA, Brenda, MALDONADO-ASTUDILLO1, Yanik I., JIMENEZ-HERNANDEZ, James,2, FLORES-CASAMAYOR, Verónica, ARÁMBULA-VILLA, Gerónimo, SALAZAR, Ricardo, Thermal stability of virgin coconut oil obtained from two cultivars grown in Guerrero, Mexico. *Artículo Científico*.2019.

[92] COSTA, Ana, Paulo SOUSA, Socorro GABAN, Larissa SILVA, Sandro GOUVEIA a Raimundo FIGUEIREDO. Physicochemical and nutritional aspects of babassu coconut almond and oil (*Orbignya phalerata* Mart.). *Revista chilena de nutrición* [online]. 2020, **47**(1), 57-66 [cit. 2020-04-07]. DOI: 10.4067/S0717-75182020000100057. ISSN 0717-7518. Dostupné z: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182020000100057&lng=en&nrm=iso&tlng=en

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VLDL	lipoproteiny o velmi nízké hustotě
LDL	lipoproteiny o nízké hustotě
IDL	lipoproteiny o střední hustotě
HDL	lipoproteiny o vysoké hustotě
VHDL	lipoproteiny o velmi vysoké hustotě
K_d	distribuční konstanta
t_R	retenční čas
V_R	retenční objem
MS	hmotnostní spektrometr
FID	plamenový ionizační detektor
TCD	tepelně vodivostní detektor
FT-IR	infračervená spektrometrie s Furierovou transformací a technikou zeslabeného úplného odrazu
ΔH	entalpie tání

SEZNAM OBRÁZKŮ

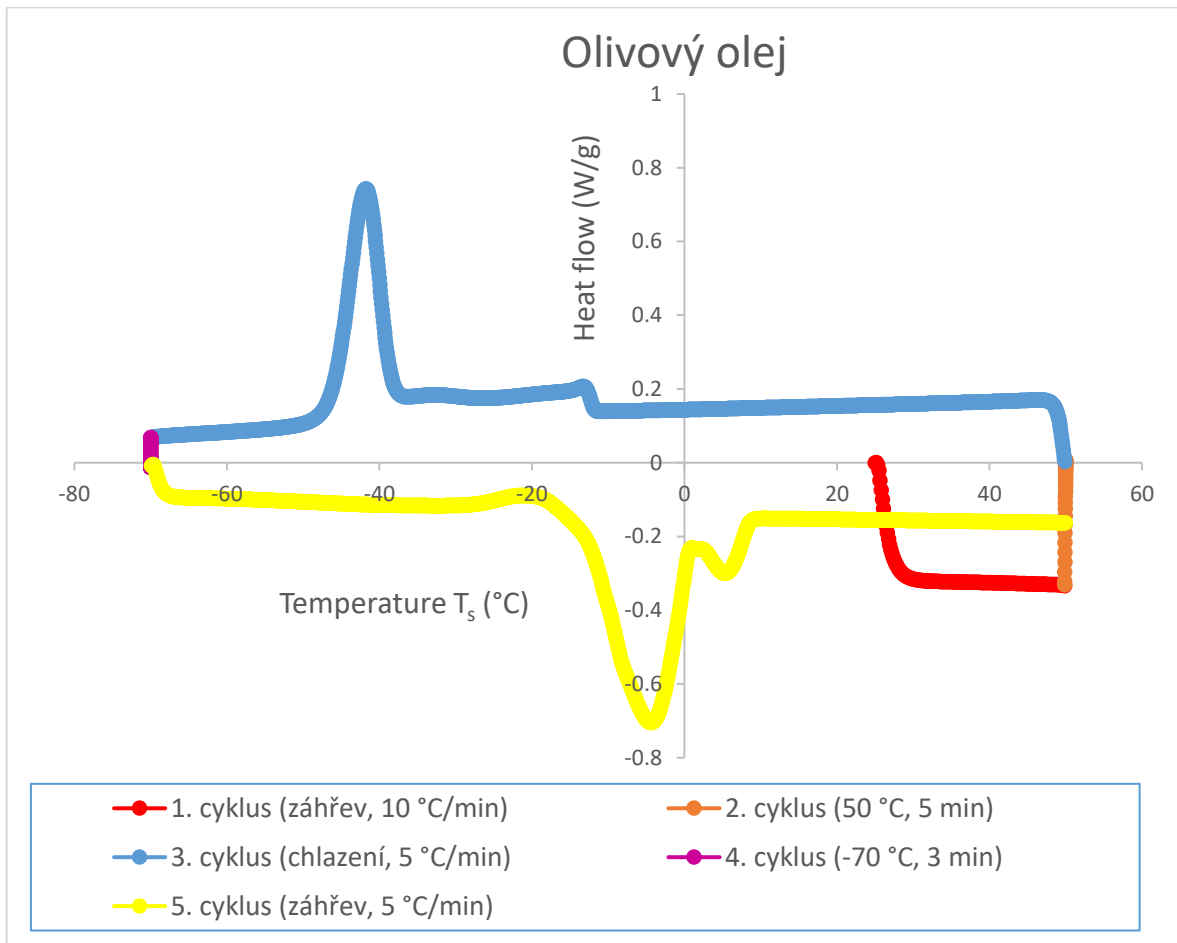
Obrázek 1 Schéma výroby olejů.....	32
Obrázek 2 Spotřeba tuků a olejů.....	34
Obrázek 3 Světová spotřeba jednotlivých druhů olejů.....	35
Obrázek 5 Podstata ATR techniky.....	45
Obrázek 6 Stokesův posun	46
Obrázek 7 Jablonského diagram	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 8 Světelné spektrum	48
Obrázek 9 FI-TR kokosového oleje.....	85

SEZNAM TABULEK

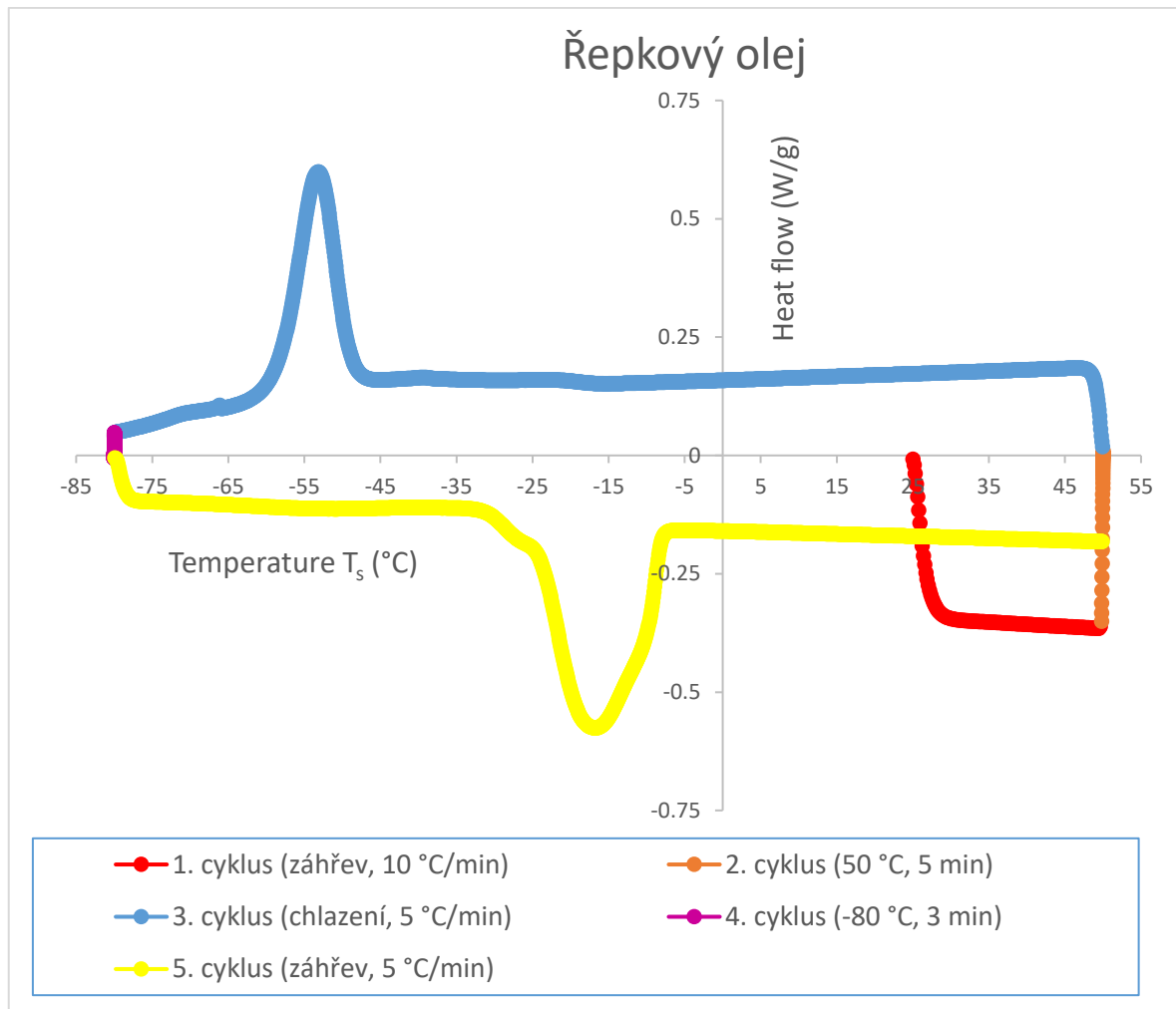
Tabulka 1 Kyselinové složení olivového oleje	15
Tabulka 2 Kyselinové složení řepkového oleje	15
Tabulka 3 Kyselinové složení klasického a olejového slunečnicového oleje	16
Tabulka 4 Kyselinové složení sójového oleje	16
Tabulka 5 Kyselinové složení arašídového oleje	17
Tabulka 6 Kyselinové složení sezamového oleje	17
Tabulka 7 Kyselinové složení mandlového oleje	18
Tabulka 8 Kyselinové složení lněného oleje	19
Tabulka 9 Kyselinové složení kokosového oleje	19
Tabulka 10 Kyselinotvorné složení kakaového másla.....	20
Tabulka 11 Přehled lipoproteinů krevního séra.....	21
Tabulka 12 Kouřové body vybraných olejů a tuků	24
Tabulka 13 Kroky rafinace olejů	31
Tabulka 14 Produkce olejnin milionech tun v Evropě	35
Tabulka 15 Retenční časy elučních píků standardů.....	60
Tabulka 16 Vzorek standardu C11C16C18	61
Tabulka 17 Vzorek standardu C8C12C16C18:1C20:1	61
Tabulka 18 Zastoupení mastných kyselin v olivovém oleji	61
Tabulka 19 Zastoupení mastných kyselin ve slunečnicovém oleji.....	62
Tabulka 20 Zastoupení mastných kyselin v řepkovém oleji.....	62
Tabulka 21 Zastoupení mastných kyselin v sójovém oleji	63
Tabulka 22 Zastoupení mastných kyselin v arašídovém oleji	63
Tabulka 23 Zastoupení mastných kyselin v mandlovém oleji.....	64
Tabulka 24 Zastoupení mastných kyselin ve lněném oleji	64
Tabulka 25 Zastoupení mastných kyselin v sezamovém oleji.....	65
Tabulka 26 Zastoupení mastných kyselin v kokosovém oleji	65
Tabulka 27 Zastoupení mastných kyselin v kakaovém másle	66
Tabulka 28 Krystalizační píky jednotlivých olejů	67
Tabulka 29 Profil tání jednotlivých olejů	68
Tabulka 30 Fluorescenční spektrometrie jednotlivých olejů.....	69

SEZNAM PŘÍLOH

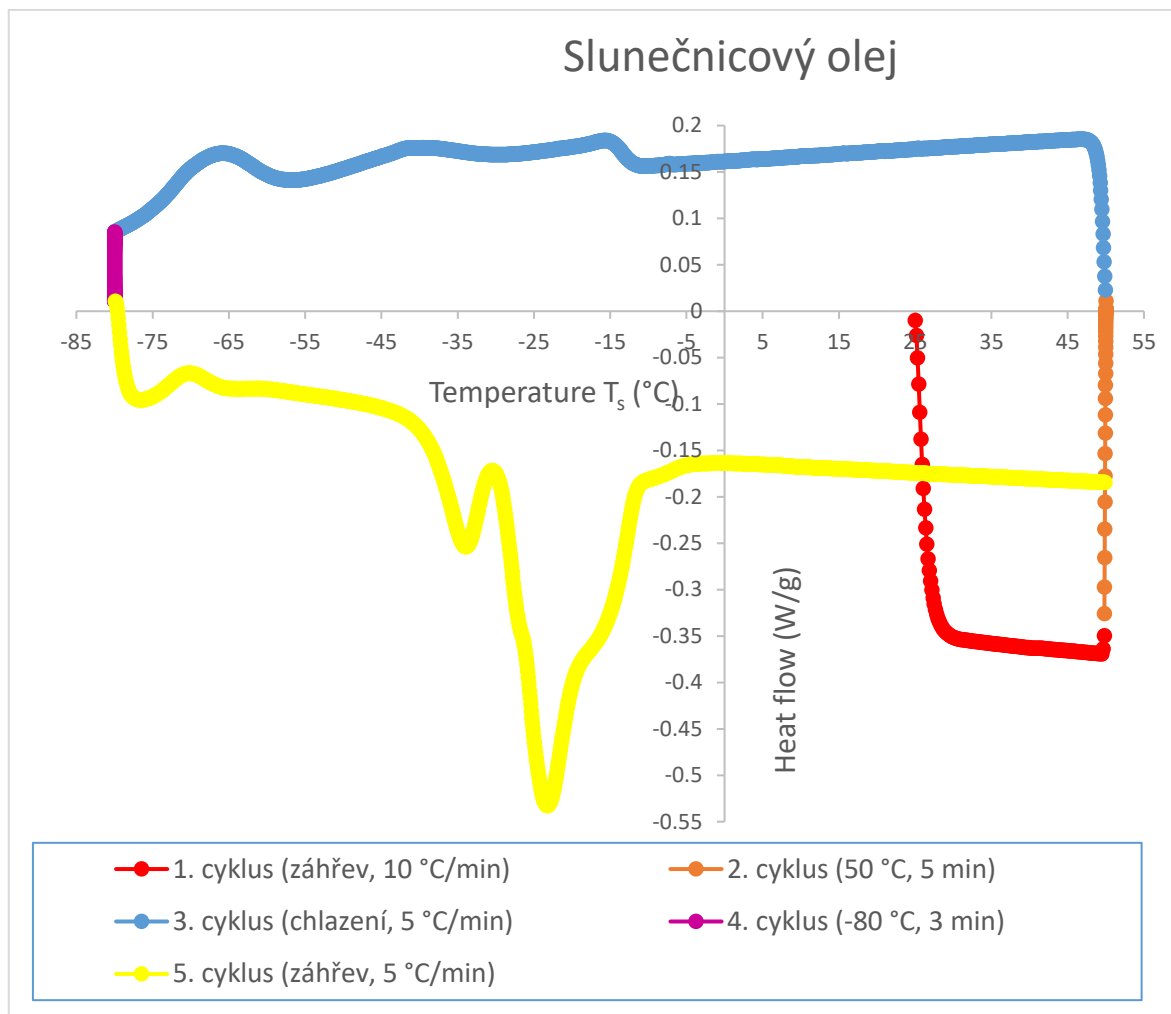
Příloha P I: Grafy DSC pro jednotlivé oleje a tuky



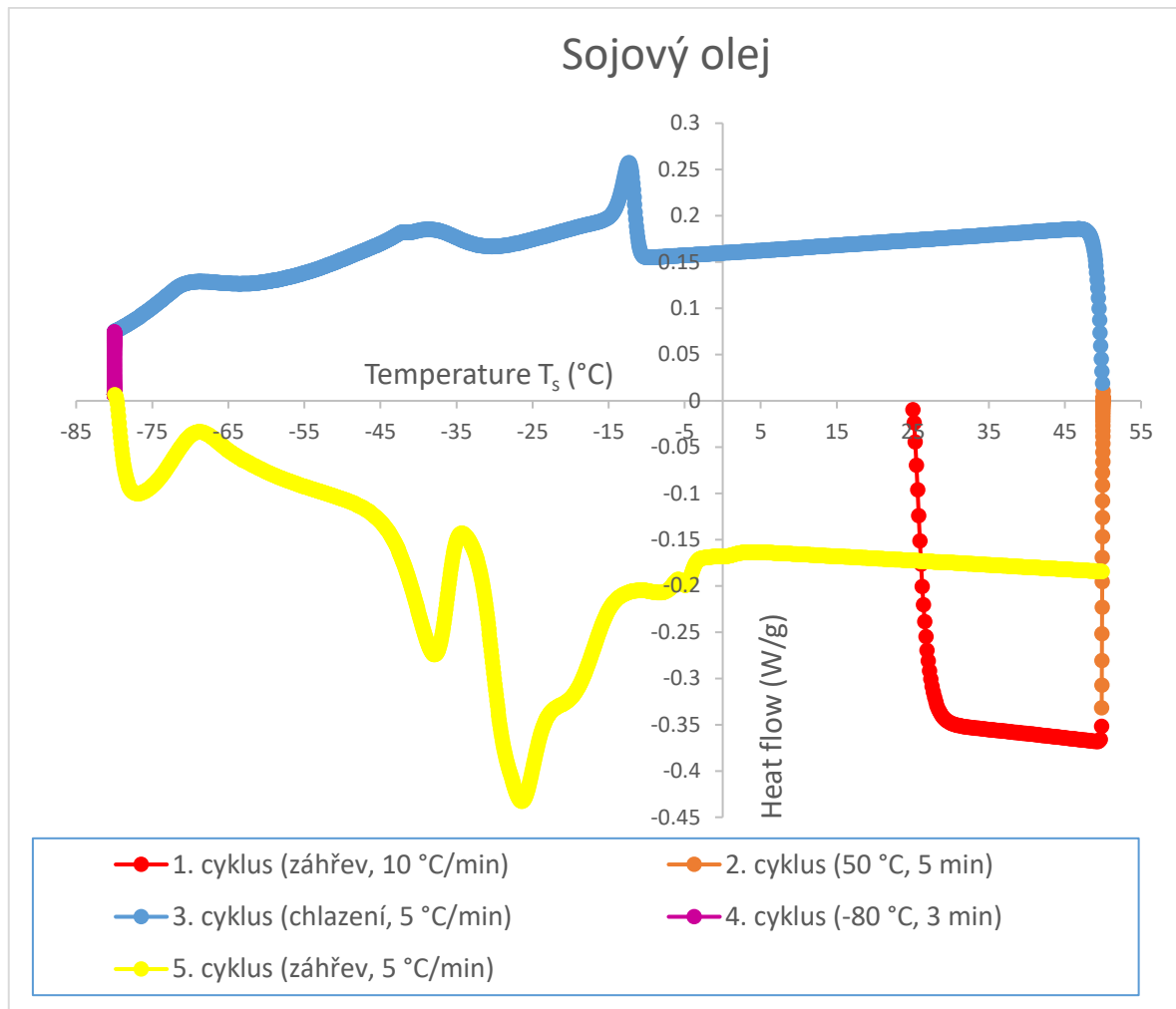
Graf 17 Krystalizační chování olivového oleje.



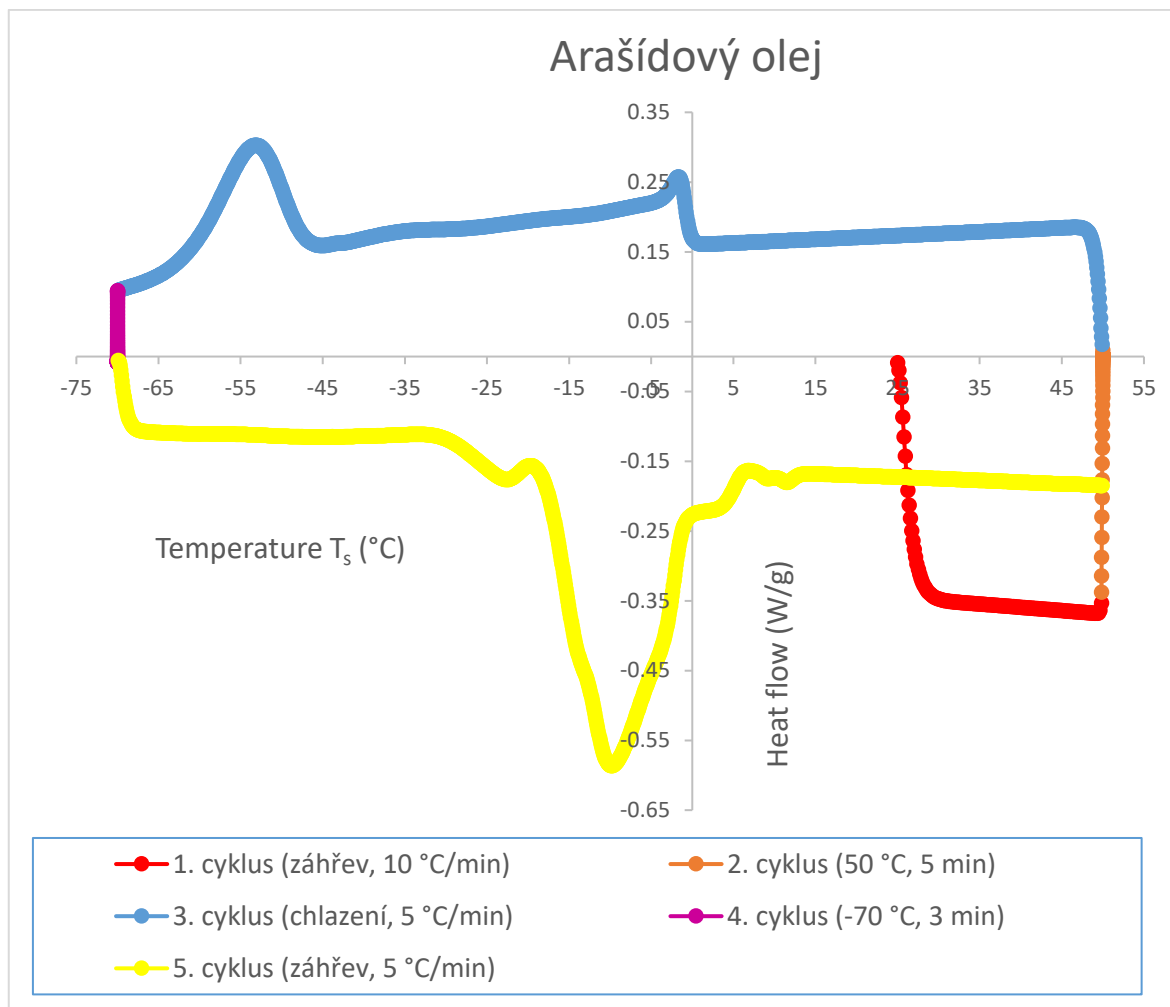
Graf 18 Krystalizační chování řepkového oleje.



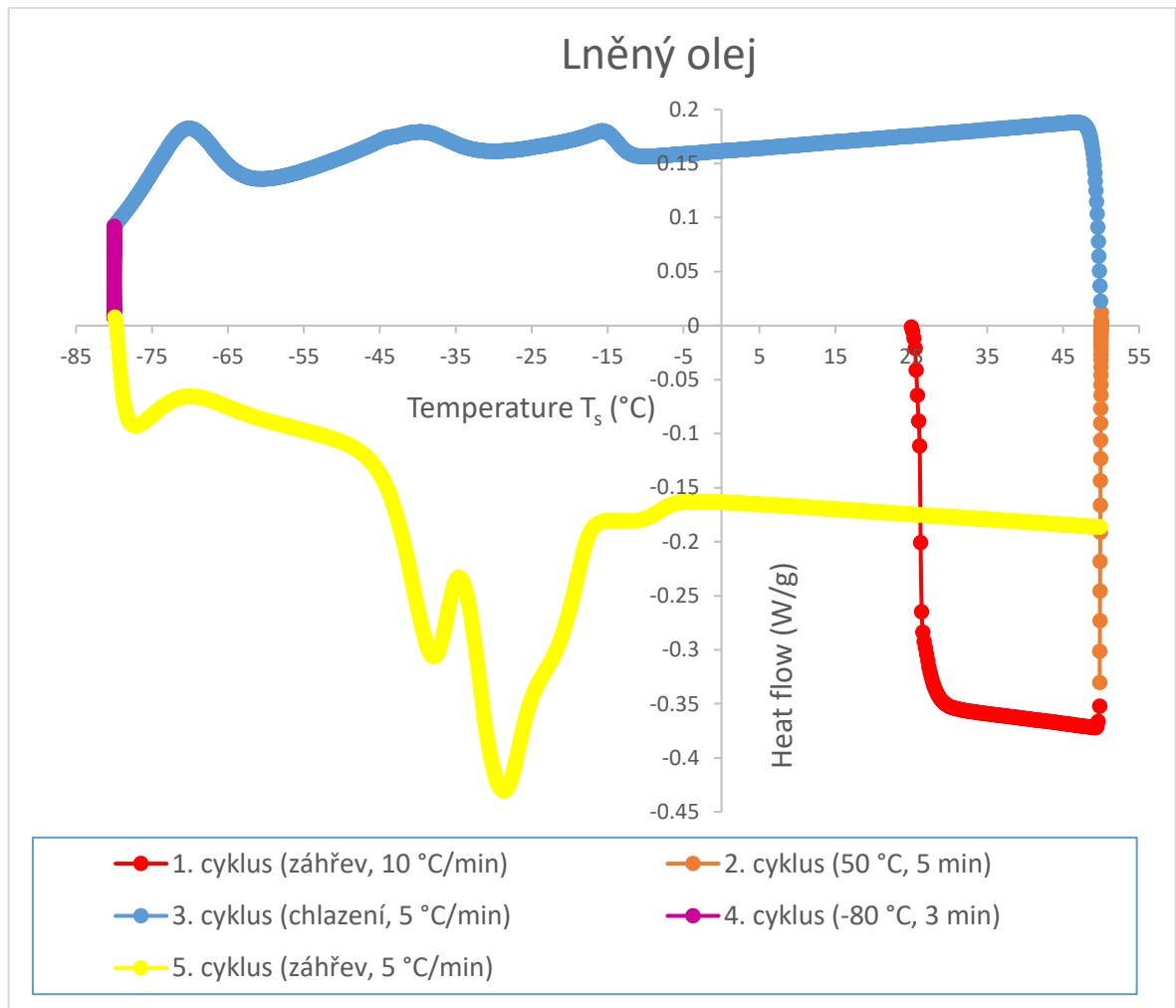
Graf 19 Krystalizační chování slunečnicového oleje.



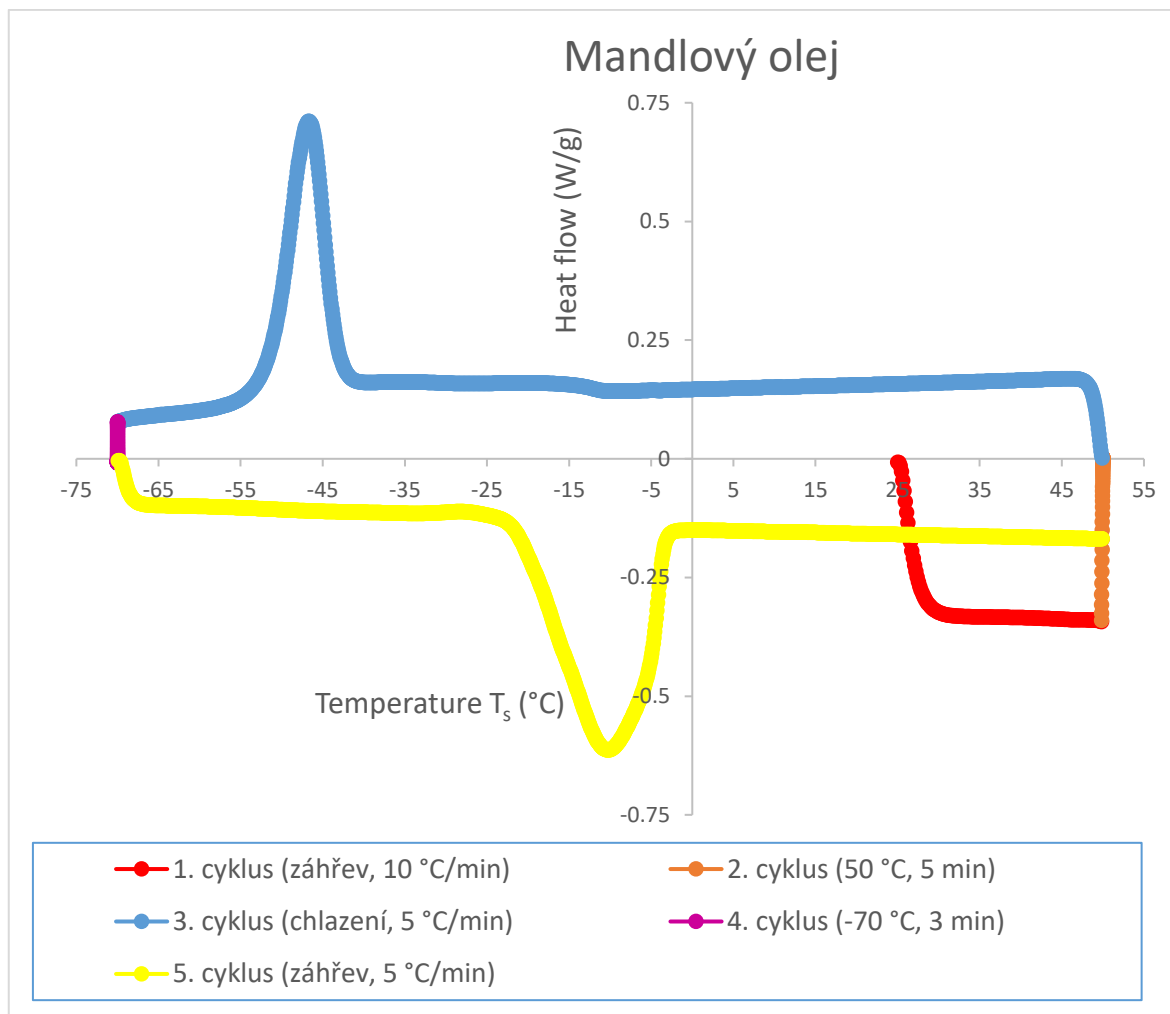
Graf 20 Krystalizační chování sójového oleje.



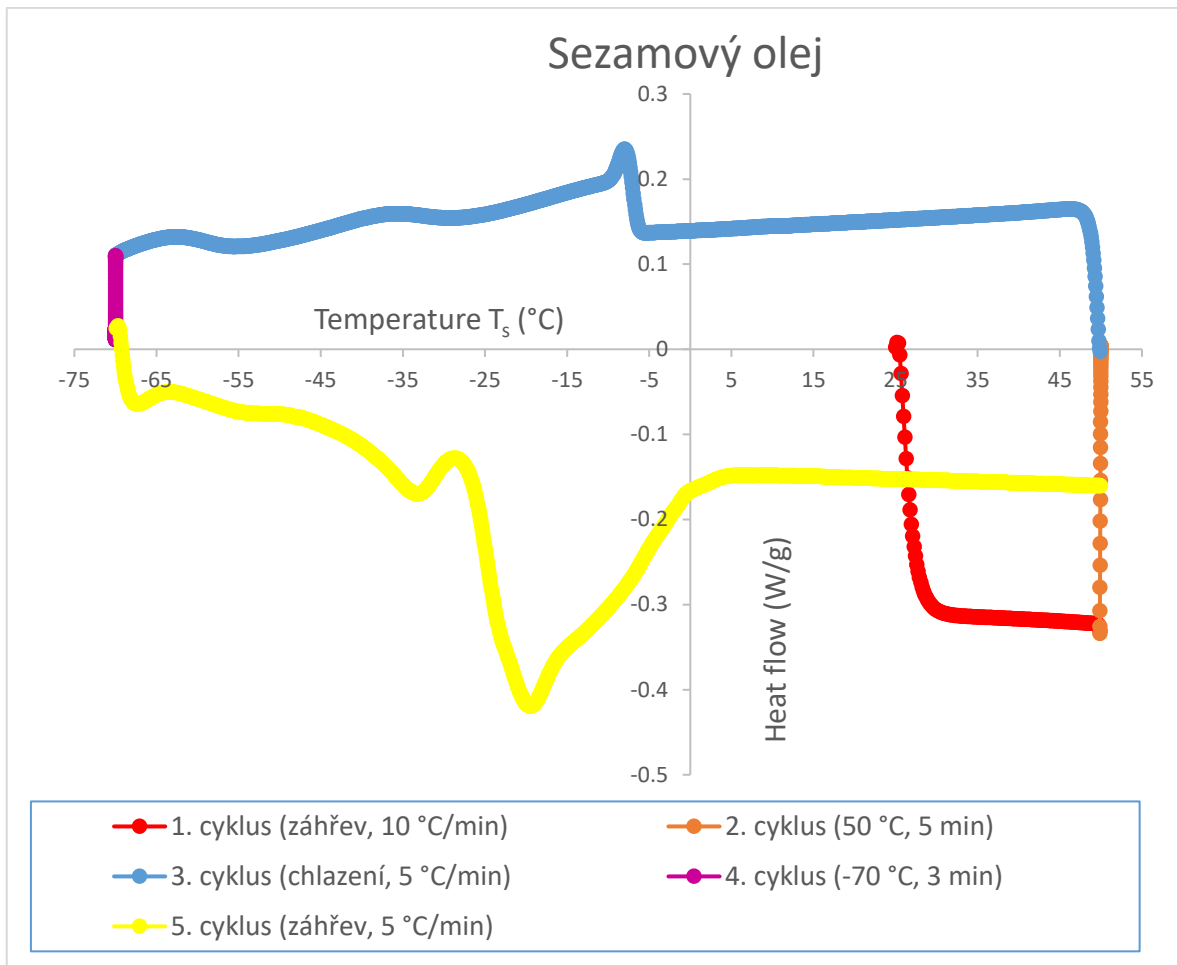
Graf 21 Krystalizační chování arašídového oleje.



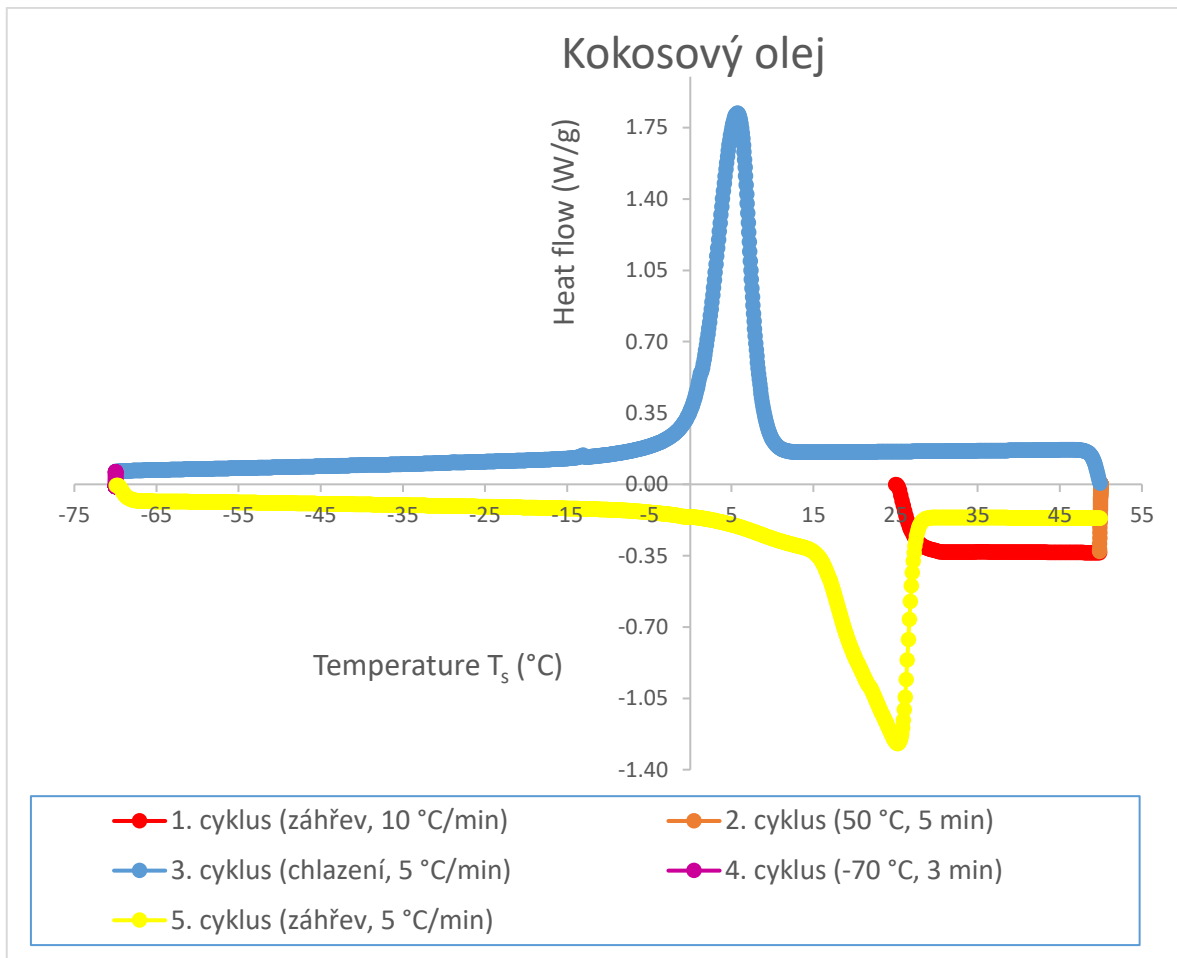
Graf 22 Krystalizační chování lněného oleje.



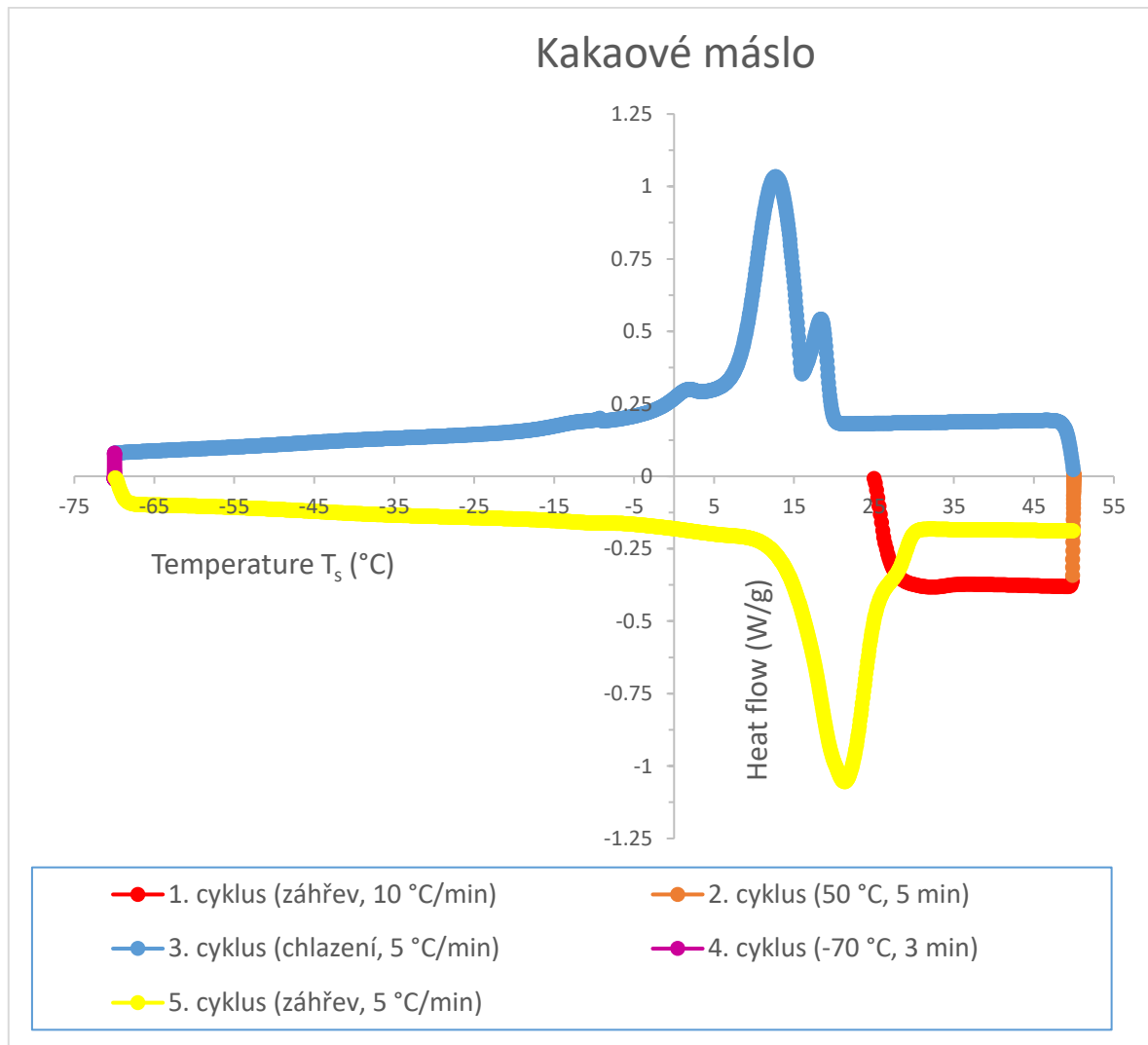
Graf 23 Krystalizační chování mandlového oleje.



Graf 24 Krystalizační chování sezamového oleje.

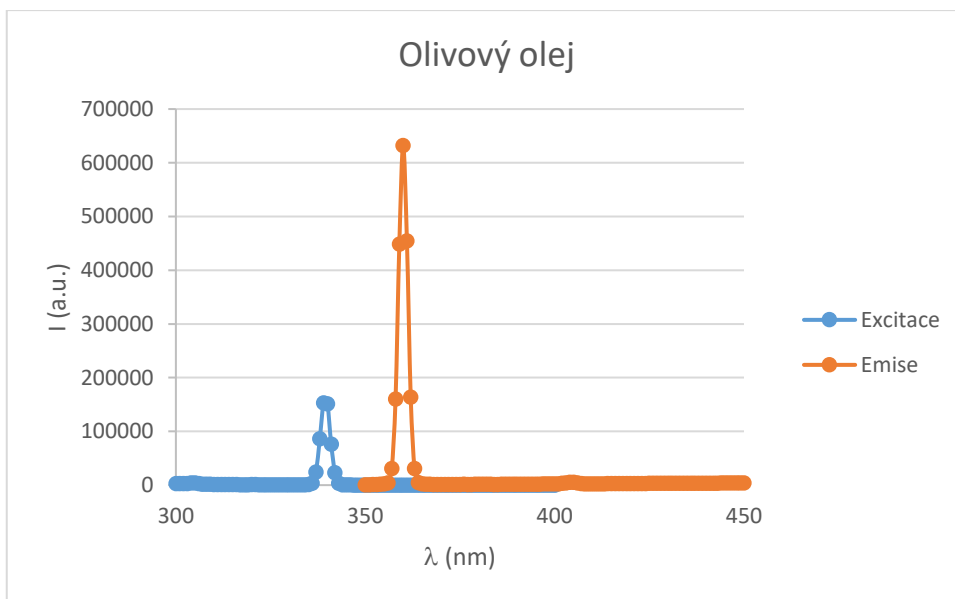


Graf 25 Krystalizační chování kokosového oleje.

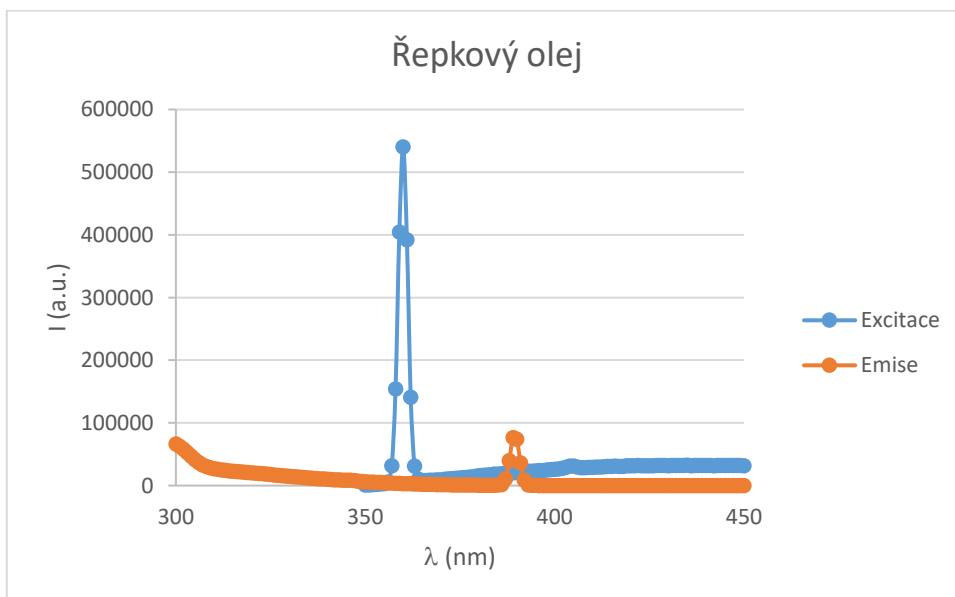


Graf 26 Krystalizační chování kakaového másla.

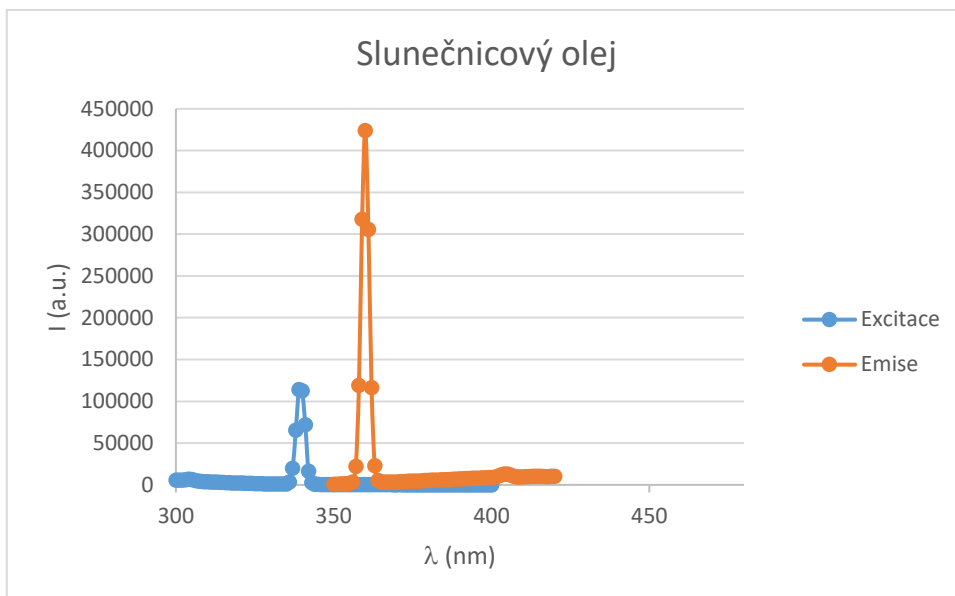
PŘÍLOHA P I: FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE



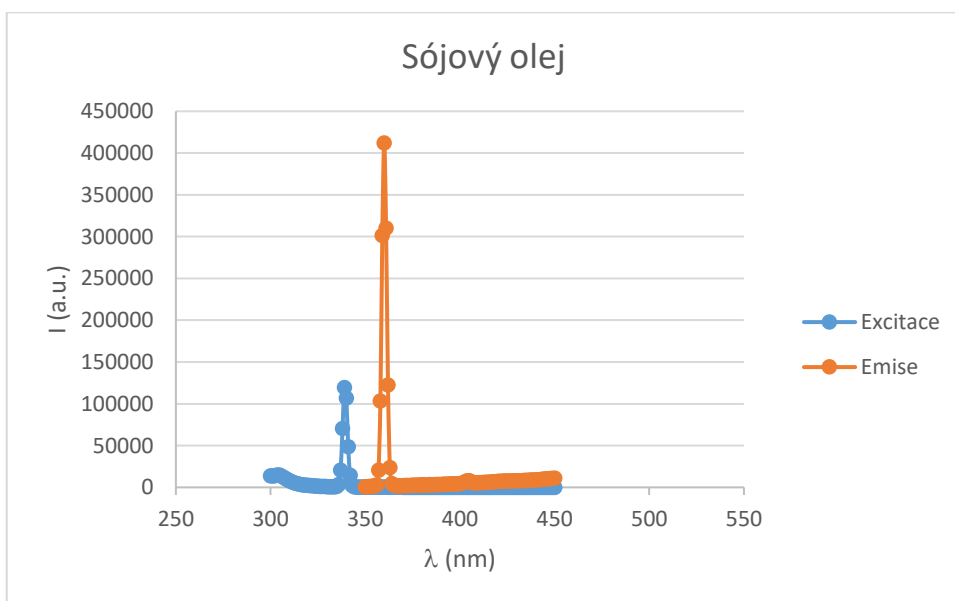
Graf 27 Excitační a emisní spektrum olivového oleje



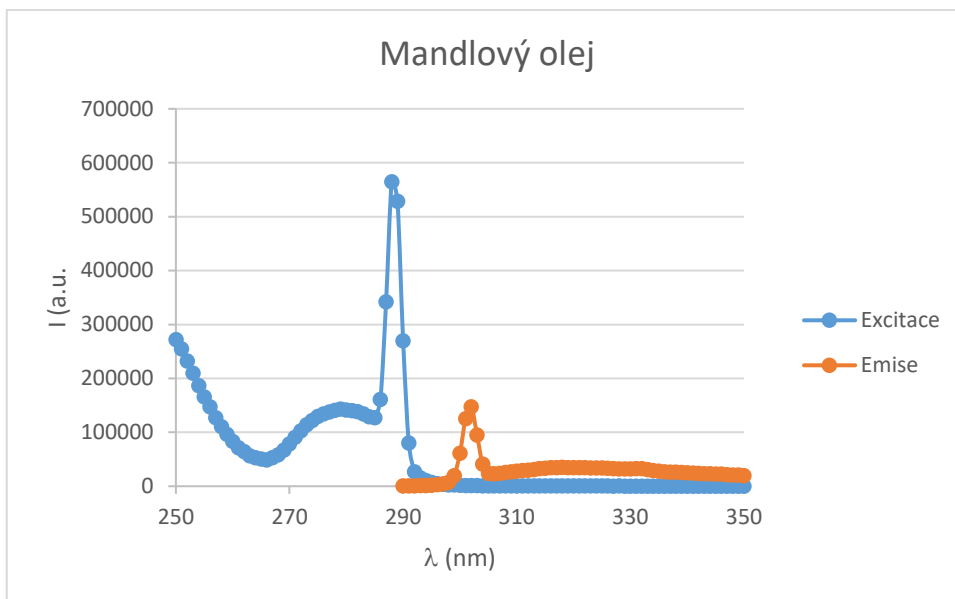
Graf 28 Excitační a emisní spektrum řepkového oleje



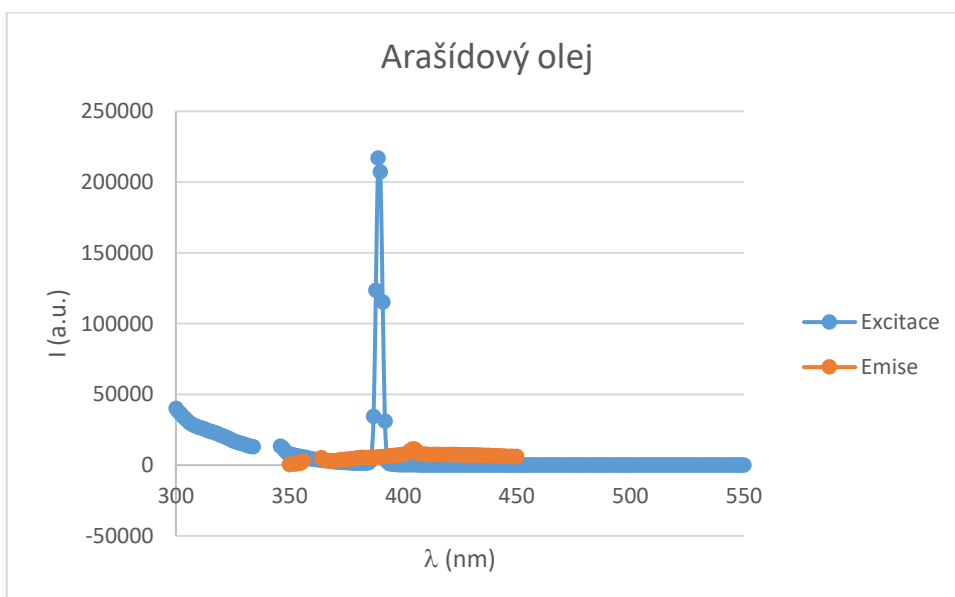
Graf 29 Excitační a emisní spektrum slunečnicového oleje



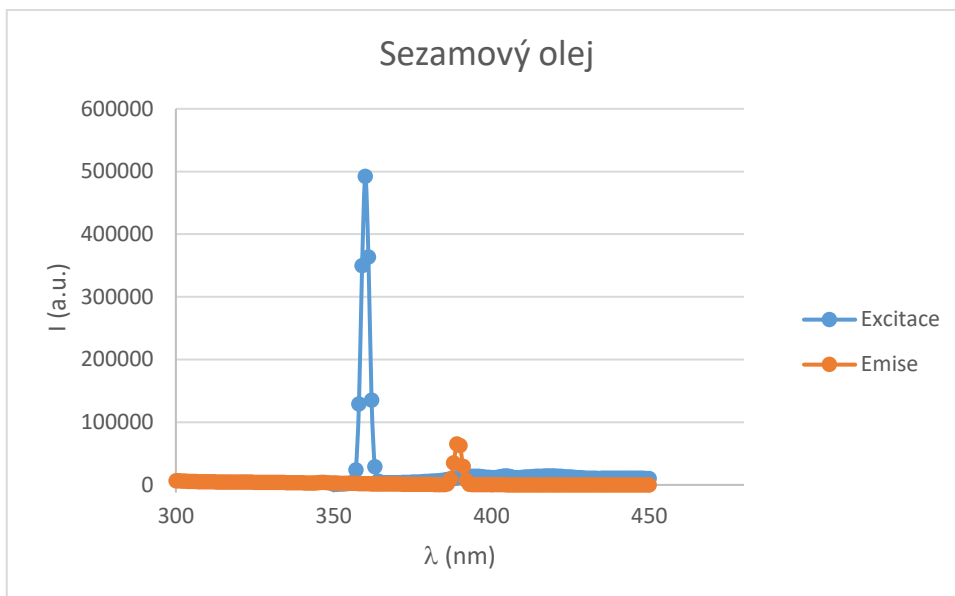
Graf 30 Excitační a emisní spektrum sójového oleje



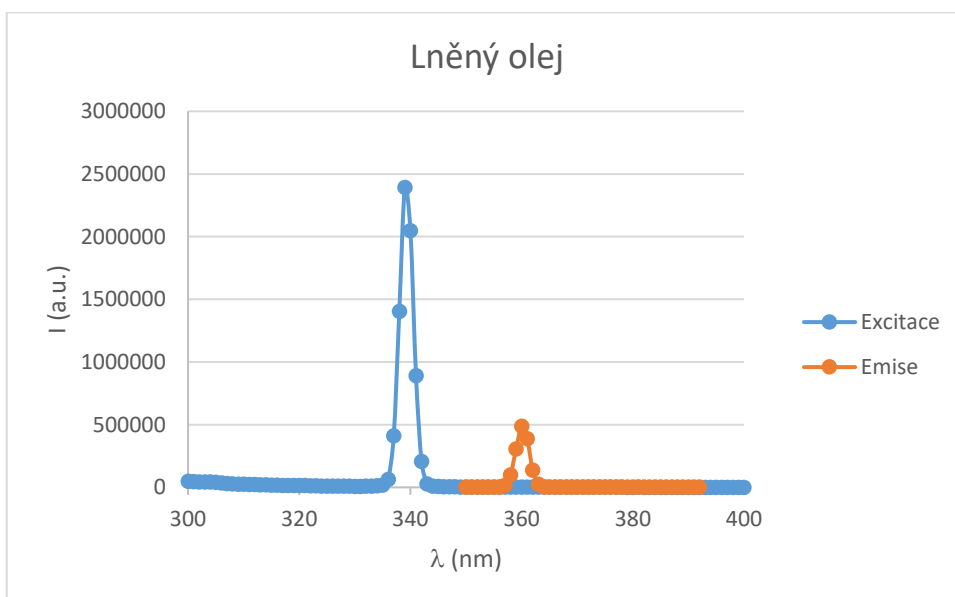
Graf 31 Excitační a emisní spektra mandlového oleje



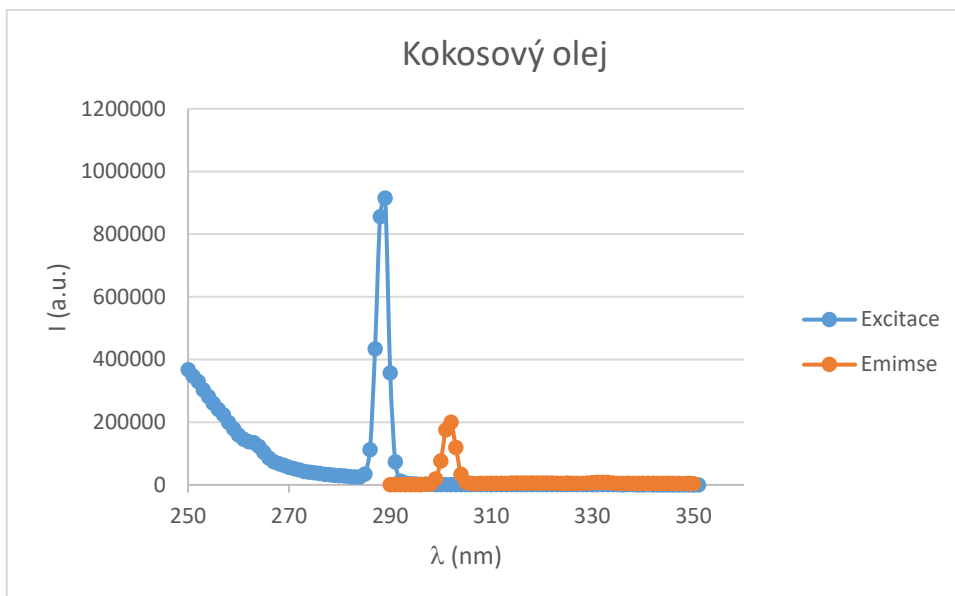
Graf 32 Excitační a emisní spektra arašídového oleje



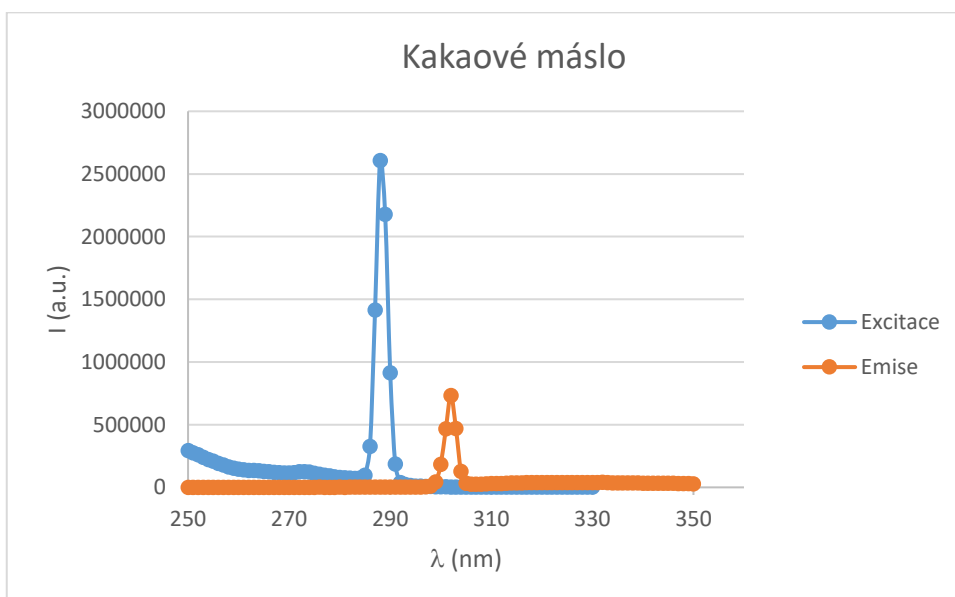
Graf 33 Excitační a emisní spektra sezamového oleje



Graf 34 Excitační a emisní spektra lněného oleje



Graf 35 Excitační a emisní spektra kokosového oleje



Graf 36 Excitační a emisní spektra kakaového másla