

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta chemická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2017

Bc. Martina Krňávková



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

**SLEDOVÁNÍ OXIDAČNÍ STABILITY VÝROBKŮ ZE
SKOŘÁPKOVÝCH PLODŮ**

MONITORING OF OXIDATIVE STABILITY OF PRODUCTS FROM SHELL FRUITS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martina Krňávková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Vítová, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1045/2016
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Bc. Martina Krňávková**
Studijní program: Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Potravinářská chemie a biotechnologie
Vedoucí práce: **Ing. Eva Vítová, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Název diplomové práce:

Sledování oxidační stability výrobků ze skořápkových plodů

Zadání diplomové práce:

1. Zpracujte literární přehled dané problematiky:
 - skořápkové plody - charakteristika, složení, vlastnosti
 - vybrané výrobky ze skořápkových plodů (oleje, másla) - charakteristika, složení, vlastnosti
 - změny lipidů během skladování – oxidační aj.
 - metody vhodné pro sledování oxidační stability lipidů - princip, provedení, přehled aplikací
2. Pomocí vybraných metod sledujte oxidační stabilitu vybraných výrobků ze skořápkových plodů za různých skladovacích podmínek
3. Porovnejte a diskutujte oxidační stabilitu/trvanlivost výrobků

Termín odevzdání diplomové práce: 5.5.2017

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Martina Krňávková
student(ka)

Ing. Eva Vítová, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2017

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje problematice sledování oxidační stability výrobků, olejů a másel, ze skořápkových plodů. Teoretická část se zabývá tématem skořápkových plodů, jejich vlastnostmi, složením, které úzce souvisí s účinky na lidské zdraví, a možností technologického zpracování. Je v ní také popsán proces žluknutí lipidů při skladování, především nejčastěji probíhající autooxidační reakce, na které navazuje experimentální část práce. V té jsou pomocí stanovení čísla kyselosti, peroxidového čísla a složení mastných kyselin metodou GC-FID, sledovány změny probíhající ve vzorcích kokosového, vlašského a arašídového oleje a arašídového másla v průběhu skladování při 4 °C a 20 °C.

Nejnižší oxidační stabilitu vykazoval, díky největšímu obsahu nestabilních polynenasycených mastných kyselin – až 88,7 %, vlašský olej. V průběhu skladování při 20 °C u něj došlo ke statisticky významnému nárůstu obsahu primárních oxidačních produktů, stanovených jako peroxidové číslo $\check{C}_p = 2,55 \pm 0,12 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$. Nárůst byl zaznamenán také u vzorků arašídového másla, u kterých byl však způsoben především vyšší vodní aktivitou, která zajišťuje vhodné prostředí pro průběh chemických reakcí.

Doba použití těchto výrobků po jejich otevření uvedená na obale koreluje s jejich nízkou stabilitou.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the monitoring of oxidative stability of products, oils and butter, from nut fruits. The theoretical part concentrates on the topic of nut fruits, their properties, compositions which are closely related to the effects on the human health and the possibilities of technological processing. The lipid storage process, especially the most frequently occurring autooxidation reactions are described, followed by experimental part of the thesis. The changes in coconut, walnut, peanut oils and peanut butter samples are monitored during storage at 4 °C and 20 °C by determining the acid value, the peroxide value and the fatty acid composition by the GC-FID method.

The lowest oxidation stability showed walnut oil due to the highest content of unstable polyunsaturated fatty acids – up to 88,7 %. During storage at 20 °C there was a statistically significant increase in the content of primary oxidation products, determined as peroxide value $P_V = 2,55 \pm 0,12 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$. An increase was also observed in samples of peanut butter, but it was mainly due to higher water activity, which is important for chemical reactions.

The durability of this product after opening mentioned on the product label correlates with their low stability.

KLÍČOVÁ SLOVA: skořápkové plody, oxidační stabilita, mastné kyseliny, GC-FID

KEYWORDS: nut fruits, oxidative stability, fatty acids, GC-FID

KRŇÁVKOVÁ, M. *Sledování oxidační stability výrobků ze skořápkových plodů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2017. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Vítová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová/bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové/bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucí této diplomové práce paní Ing. Evě Vítové, Ph.D. za osobní přístup, odborné vedení, rady, pomoc při zpracování této diplomové práce.

Velmi ráda bych také poděkovala své rodině a nejbližším přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

OBSAH

1	ÚVOD	- 7 -
2	TEORETICKÁ ČÁST	- 8 -
2.1	Skořápkové plody	- 8 -
2.2	Charakteristika jednotlivých skupin skořápkových plodů	- 9 -
2.2.1	Vlašské ořechy	- 9 -
2.2.2	Lískové ořechy	- 9 -
2.2.3	Mandle	- 10 -
2.2.4	Kešu ořechy	- 10 -
2.2.5	Arašídy	- 11 -
2.2.6	Para ořechy	- 12 -
2.2.7	Kokosové ořechy	- 13 -
2.2.8	Piniové ořechy	- 14 -
2.3	Další druhy skořápkových plodů	- 14 -
2.3.1	Makadamové ořechy	- 14 -
2.3.2	Pekanové ořechy	- 15 -
2.3.3	Pistácie	- 15 -
2.4	Chemické složení skořápkových plodů	- 16 -
2.4.1	Lipidy	- 17 -
2.4.2	Vitamíny a minerály	- 18 -
2.4.3	Antioxidanty	- 19 -
2.5	Konzumace skořápkových plodů a výrobků z nich a jejich vliv na lidský organismus	- 19 -
2.5.1	Obecná výživová doporučení	- 19 -
2.5.2	Vliv na zdraví konzumenta	- 19 -
2.5.3	Rizika konzumace	- 20 -
2.6	Zpracování skořápkových plodů	- 22 -
2.6.1	Výroba cukrovinek	- 22 -
2.6.2	Výroba past	- 23 -
2.6.3	Výroba olejů	- 23 -
2.7	Změny lipidů během skladování	- 24 -
2.7.1	Hydrolytické žluknutí	- 24 -
2.7.2	Oxidační žluknutí	- 24 -
2.7.3	Ketonové žluknutí	- 25 -
2.7.4	Chuťová reverze	- 25 -
2.8	Metody používané pro sledování změn ve složení lipidů	- 25 -
2.8.1	Stanovení vybraných tukových charakteristik	- 26 -
2.8.2	Spektrální stanovení	- 27 -
2.8.3	Stanovení složení mastných kyselin pomocí plynové chromatografie	- 27 -

3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 28 -
3.1	Použité laboratorní vybavení a chemikálie	- 28 -
3.1.1	Přístroje	- 28 -
3.1.2	Laboratorní pomůcky	- 28 -
3.1.3	Chemikálie	- 28 -
3.1.4	Plyny.....	- 29 -
3.2	Analyzované vzorky	- 29 -
3.3	Pracovní postupy.....	- 30 -
3.3.1	Příprava vzorků k analýze	- 30 -
3.3.2	Stanovení čísla kyselosti a kyselosti podle ČSN EN ISO 660	- 30 -
3.3.3	Stanovení peroxidového čísla podle ČSN EN ISO 3960	- 31 -
3.3.4	Stanovení mastných kyselin pomocí plynové chromatografie.....	- 31 -
3.4	Statistické zpracování výsledků.....	- 32 -
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	- 34 -
4.1	Stanovení čísla kyselosti	- 34 -
4.1.1	Kokosový olej	- 34 -
4.1.2	Vlašský olej	- 35 -
4.1.3	Arašídový olej	- 35 -
4.1.4	Arašídové máslo	- 36 -
4.2	Stanovení peroxidového čísla	- 37 -
4.2.1	Kokosový olej	- 37 -
4.2.2	Vlašský olej	- 38 -
4.2.3	Arašídový olej	- 39 -
4.2.4	Arašídové máslo	- 40 -
4.3	Stanovení mastných kyselin pomocí plynové chromatografie	- 42 -
4.3.1	Kokosový olej	- 42 -
4.3.2	Vlašský olej	- 43 -
4.3.3	Arašídový olej	- 43 -
4.3.4	Arašídové máslo	- 44 -
5	ZÁVĚR	- 49 -
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	- 50 -
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	- 55 -
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 56 -
9	SEZNAM TABULEK.....	- 57 -
10	PŘÍLOHY	- 58 -

1 ÚVOD

Skořápkové plody, které jsou známější pod obecným označením ořechy, jsou součástí jídelníčků již dlouhá staletí. Do této skupiny potravin řadíme mandle, ořechy vlašské, lískové, kešu, kokosové a para, také pistácie, burské oříšky neboli arašidy a oříšky piniové. Historie rozšíření a pěstování skořápkových plodů z jejich původních krajin, jako jsou Malá Asie, či tropické oblasti Jižní Ameriky a Asie, sahá až do období středověku. Velmi důležitou roli, kterou mají po celou dobu jejich pěstování a zpracování, hrají ořechy v oblasti cukrářství a pekařství. V lidovém léčitelství byly kromě samotných jader, semen a plodů využívány i ostatní součásti, jako například listy či slupky. Díky vhodnému složení a pokroku v technologickém zpracování potravin, začaly být ořechy zpracovávány na různé produkty. Velké oblibě se v současné době těší široký sortiment ochucených i neochucených ořechových pomazánek, krémů a past, které jsou u spotřebitelů, především po překladu z angličtiny, známé jako tzv. ořechová másla. Do povědomí spotřebitelů se pomalu také dostávají oleje vyrobené ze skořápkových plodů, které slouží jako skvělá alternativa k běžně využívaným živočišným a rostlinným tukům – běžně dostupné jsou kokosový, podzemnicový, vlašský, lískový, mandlový či makadamový olej, přičemž poslední dva jmenované jsou převážně využívány v kosmetickém průmyslu.

Ořechy v různé kulinářské úpravě jsou neodmyslitelnou součástí racionálního a vyváženého jídelníčku. Jsou komplexním zdrojem základních živin a minerálů s vysokým obsahem antioxidantů a dalších fytochemikálií. Proto se jim dostává velké obliby u aktivních sportovců a lidí žijících podle zásad zdravého životního stylu, důležité postavení mají také v jídelníčcích osob vyznávajících alternativní životní a výživové směry, jako jsou vegetariáni či vegani. Jejich hlavním benefitem je vysoký obsah rostlinných bílkovin a tuků, které jsou bohatým zdrojem nenasycených mastných kyselin, a nízký obsah sacharidů, které jsou navíc téměř z poloviny tvořeny vlákninou. Proto jsou také ve značné míře zařazovány do různých redukčních a nízkosacharidových jídelníčků. Konzumace skořápkových plodů má díky jejich jedinečnému složení mnohé pozitivní účinky na lidský organismus. Významně ovlivňují funkci kardiovaskulárního, nervového či trávicího systému a podílejí se na antioxidačních procesech. Díky všem výše jmenovaným kritériím jsou ořechy součástí mnohých výživových doporučení vydávaných organizacemi působícími v oblasti zdravotnictví a výživy.

Hlavní rizika pro jakost skořápkových plodů a výrobků z nich představují kontaminace plísněmi produkujícími karcinogenní aflatoxiny a procesy žluknutí, které probíhají při jejich skladování a zpracování. Těmto změnám, konkrétně změnám způsobeným autooxidací lipidů, se věnuje experimentální část této práce, ve které je pomocí vybraných metod sledována oxidační stabilita vzorků olejů a másla vyrobených ze skořápkových plodů.

2 TEORETICKÁ ČÁST

Vzhledem k zaměření této práce budou nejprve charakterizovány skořápkové plody jako hlavní surovina pro výrobu olejů a másel analyzovaných v rámci této práce, pozornost bude věnována, kromě výživových aspektů, především jejich složení s důrazem na lipidy, jejich změny a možnosti stanovení.

2.1 Skořápkové plody

Suché skořápkové plody jsou botanicky i legislativně řazeny mezi ovoce – někdy označovány i termínem skořápkové ovoce [1]. Ořechy resp. suché skořápkové plody jsou vyhláškou č. 157/2003 Sb. v aktuálním znění definovány jako plody nebo semena uvedené v tabulce 1 ve stavu surovém, praženém nebo soleném [2].

Tabulka 1: Seznam suchých skořápkových plodů [2]

Skořápkové plody	Popis
Vlašské ořechy	jádra plodů ořešáku vlašského a jeho odrůd
Lískové ořechy	jádra suchých plodů lísky
Mandle	jádra suchých plodů mandloně obecné
Kešu ořechy	semena plodů ledvinovníku západního
Arašídové nebo burské oříšky	plody odrůd podzemnice olejné
Para ořechy	semena juvie ztepilé
Kokosové ořechy	plody palmy kokosové
Piniové oříšky	semena borovice pinie

Skořápkové plody se podle legislativy dále dělí na skupiny a podskupiny, viz tabulka 2.

Tabulka 2: Dělení skořápkových plodů [2]

Druh	Skupina	Podskupina
Skořápkové plody	vlašské ořechy	jádra
	lískové ořechy	jádra
	mandle	jádra
	kešu ořechy	jádra
	arašídové nebo burské oříšky	neloupané nepražené
		neloupané pražené
		loupané pražené
		loupané pražené solené
	para ořechy	ve skořápce
		jádra
	kokosové ořechy	čerstvé ve skořápce
		kokos strouhaný
	piniové oříšky	jádra

2.2 Charakteristika jednotlivých skupin skořápkových plodů

2.2.1 Vlašské ořechy

Vlašské ořechy jsou jádra plodů listnatého stromu čeledi ořešákovitých (*Juglandaceae*) ořešáku královského, resp. vlašského (*Juglans regia*). Ořešák byl rozšířen z oblasti Střední Asie a Středozeří, dnes je pěstován ve většině zemí mírného podnebného pásu. Je to strom dorůstající výšky až 30 m s větvemi porostlými dlouhými listy složenými z 5–13 lístků, které se větví v mohutnou korunu. Jeho plody, ořechy, jsou nepravé peckovice vně obalené zdužnatělým zeleným, později černajícím, usychajícím a hořkým obalem – češulí, viz obrázek 1. Tloušťka tohoto obalu bývá v rozmezí 2–8 mm. Vnitřní obal, žlutá až temně hnědá skořápka, je složená z 2 různě silných, přirůstajících vrstev. Vlastnosti skořápky jako její tloušťka, struktura povrchu a švu ovlivňují kvalitu jádra – jeho velikost, trvanlivost. Vlašské ořechy se sklízí na konci léta a v průběhu podzimu po prasknutí ochranné slupky a samovolném vypadnutí ořechu [3].



Obrázek 1: Dozrávající vlašský ořech s praskající slupkou [4]

Sušená jádra vlašských ořechů jsou zpracovávána především k přímé spotřebě, v potravinářském průmyslu v pekařství, cukrářství a na výrobu oleje. V domácnostech jsou jádra využívána například k výrobě pálenky. K přípravě různých výluhů a nálevů využívaných v lidovém léčitelství jsou využívány i listy, případně zelené slupky [5].

2.2.2 Lískové ořechy

Lískové ořechy jsou jádra plodů keře lísky obecné (*Corylus avellana*), kulturního druhu z čeledi břízovitých (*Betulaceae*). Tento 5–8 m vysoký keř roste typicky jako lesní podrost, na keřnatých březích a horských stráních. Listy lísky jsou nejčastěji srdčité. Plody, ořechy, se podle typu liší svou velikostí i tvarem – kulovité, válcovité, ploché, atd. Jádro plodu je obaleno tvrdou, hladkou, hnědou skořápkou, která je uložena v tzv. punčošce, obalu obepínajícím plod, zobrazeno na obrázku 2. Zralost plodů značí žloutnutí punčošky, ze které

zralé plody s hnědou skořápkou často samy vypadávají. Sklizeň lískových ořechů probíhá podle odrůd od poloviny srpna do září [3].



Obrázek 2: Nezralé lískové ořechy v punčošce [4]

Lískové ořechy mají velmi podobné využití jako ořechy vlašské, jsou nepostradatelné v potravinářství – čokolády, pečivo, cukroví, olej. Stejné využití nachází i listy, dřevo lísky je pak s oblibou využíváno v košíkářství [5].

2.2.3 Mandle

Mandlemi jsou označovány jádra plodů (peckovic) stromovitěho keře mandloně obecné, též mandlovníku obecného (*Amygdalus communis*) pocházejícího ze západní Asie, ze které se postupně rozšířila do jižní a západní Evropy. Společně s meruňkami a broskvemi náleží mandlovník do čeledi růžokvětých (*Rosales*), podčeledi slivoňovitých (*Prunoidae*). Na rozdíl od jmenovaných ovocných stromů jsou plody mandloně suchou peckovicí bez dužnatého oplodí uložené v kožovitém obalu – rubině. Plod má zploštělý, vejčitý tvar a obsahuje jednu pecku s 1–2 jádry – mandlemi. Obvyklou dobou dozrávání plodů je září, kdy rubina seschne, pukne a obnaží pecku. Podle chuťových vlastností a následného využití v potravinářství se mandloně dělí na sladké a hořké [3].

Mandle jsou opět hojně využívány v potravinářství, jsou např. nezastupitelnou složkou marcipánu – viz kapitola 2.6.1.1, široké využití má i mandlové mléko získané vyluhováním rozmělněných mandlí. Olej z nich lisovaný má nezastupitelnou úlohu především v kosmetickém průmyslu a aromaterapii [5].

2.2.4 Kešu ořechy

Ořechy kešu, kašu či také akašu jsou semena plodu ledvinovníku západního (*Anacardium occidentale*) z čeledi ledvinovnickovité (*Anacardiaceae*). Ledvinovník, 15 m vysoký, suchomilný strom, pocházející původně z Jižní Ameriky je dnes rozšířen ve všech tropických oblastech. Po oplození květů dochází ke vzniku ořechu ledvinovitého tvaru s kožovitou skořápkou – na obrázku 3, která obsahuje jedovatý, leptavý olej kardol. Kardol způsobuje při

styku s kůží silné podráždění a puchýře. Olej je těkavý a jádro ořechu je proto po zahřátí jedlé. Společně s pravým plodem vzniká zduřením stopky a květního lůžka i nepravý plod hruškovitého tvaru – jablko nesoucí vlastní plod na svém konci [6].



Obrázek 3: Plody kešu rostoucí na zbytnělých plodových stopkách [4]

Z ledvinovníku západního lze využít většinu z jeho částí. Z ořechů pražených v oleji nebo průmyslově v horkém vzduchu se po odstranění skořápky získávají jedlá semena, která se konzumují přírodní i ochucená, zpracovávají se do pečiva nebo pro získání oleje [7].

Šťavnatý a masitý nepravý plod se rychle kazí, a tak se podobně jako jiné ovoce využívá pro výrobu marmelád, džemů zavařenin nebo sirupů. Šťáva z nich se využívá proti nachlazení nebo zpracovává na nealkoholické i alkoholické nápoje [6, 7].

Široké využití také nachází kardol, olej ze skořápek ořechů. Je používán při výrobě laků, plastů, barviv a ochranných nátěrů, jako dezinfekce je přidáván do insekticidních a antiseptických přípravků. V místní medicíně se používá k odstraňování bradavic a kuřích ok. Dřevo stromů je označováno jako „bílý mahagon“, listy se v domorodých kuchyních používají jako zelenina a klovatina vytékající z kůry stromů se využívá podobně jako arabská guma [6].

2.2.5 Arašídý

Arašídý, také burské oříšky, jsou jedinými zástupci skořápkových plodů, které jsou semeny plodů rostliny patřící mezi luštěniny. Burské oříšky jsou semena lusků podzemnice olejné (*Arachis hypogaea*) z čeledi bobovitých (*Fabaceae*). Podzemnice olejná je 50 cm vysoká, u země velmi větvená bylina rostoucí původně v oblastech Jižní Ameriky, dnes i v Indii, Číně, USA. Semeníky květů podzemnice se po oplození stáhnou do země, kde získávají živiny a dozrávají ve válcovitý nepukavý lusk s 2–4 semeny obalenými tenkou papírovitou slupkou [7] – viz obrázek 4.



Obrázek 4: Rostlina podzemnice se zralými lusky po sklizni [4]

Složení arašídů je od ostatních skořápkových plodů mírně odlišné. Jak je uvedeno výše, arašidy patří mezi luštěniny, které jsou charakteristické vysokým obsahem bílkovin – 20–32 %. Ale protože jsou to stále semena plodů, jejichž hlavním účelem je výživa zárodku, jsou jejich hlavní složkou stále energeticky bohaté tuky – 42–58 % [6].

Jako všechny zmíněné skořápkové plody se arašidy konzumují syrové nebo pražené, často různě sladce či slaneč ochucené. Velká část arašídů, až polovina světové produkce, je zpracovávána na výrobu hojně využívaného arašídového oleje. Arašídový olej je využíván v kulinářství, potravinářském průmyslu na výrobu ztužených pokrmových tuků a majonéz, ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu. V neposlední řadě je důležité jmenovat zpracování arašídů na více nebo méně jemnou pastu – arašídové máslo, které se těší čím dál větší oblibě u spotřebitelů [6, 7].

2.2.6 Para ořechy

Jako para ořechy či ořechy brazilské jsou označována semena plodů juvie ztepilé (*Bertholletia excelsa*) z čeledi hrnečnickovitých (*Lecythidaceae*). Juvie je strom vysoký až 50 m rostoucí výhradně v deštných pralesích Amazonie. Plody tvoří dřevnaté tobolky, v jejichž dutině se nachází až desítky velkých trojhranných semen s velmi tvrdou dřevnatou skořápkou a bílým jádrem – na obrázku 5. Na zem spadlé plody s para ořechy jsou místními domorodci sklizeny z planě rostoucích stromů [7].



Obrázek 5: Rozříznutý plod juvie ztepilé s para ořechy [4]

Jádra se konzumují v čerstvém stavu, zpracovávají se v potravinářství do cukrovinek a čokolády nebo jsou využívána na výrobu velmi cenného oleje [6].

2.2.7 Kokosové ořechy

Kokosové ořechy jsou pecky plodů v tropech rostoucí kokosové palmy *Cocos nucifera* řazené do čeledi *Arecaceae*. Kokosová palma je strom dorůstající podle typu různé výšky, vysoké až 30 m, nízké 8 m, s korunou tvořenou mohutnými zpeřenými listy. Plody palmy jsou velké, duté peckovice se silným dužnatým oplodím, které obaluje již zmíněnou pecku – kokosový ořech – na obrázku 6. Vnější vrstvu kokosového ořechu tvoří skořápka, vnitřní je pak tvořena bílou přibližně 2 cm silnou vrstvou endospermu s křupavou konzistencí a nasládlou chutí. Dutina kokosového ořechu je vyplněna kokosovou vodou. Ke sklizni kokosových ořechů dochází prakticky celoročně, protože květenství na palmách kvetou postupně v průběhu celého roku. Je podmíněna především požadavkem na sklizenou část a následný produkt [8].



Obrázek 6: Nezralé plody kokosové palmy [4]

Endosperm je v tropických zemích často konzumován čerstvý. Lisováním čerstvého endospermu se získává v gastronomii hojně využívané kokosové mléko, které je, oproti téměř čiré kokosové vodě, emulzní tekutina. Kokosová voda se pak získává z nezralých zelených plodů, které ji obsahují nejvíc. Využití nachází výhradně jako čerstvý nápoj. Pro exportní účely se endosperm suší a vzniklá kopra se zpracovává nejčastěji strouháním. Lisováním kopry lze získat kvalitní kokosový olej, který nachází největší uplatnění v potravinářském a kosmetickém průmyslu [8].

Odpad vzniklý ze získávání kokosového ořechu, vyschlé oplodí, je využíváno k výrobě rohoží, jako palivo nebo například jako materiál pro filtraci olivového oleje. Z nařezaného květenství palem se získává sladká míza (toddy), která se zpracovává kvašením na takzvané palmové víno, ze kterého lze destilací připravit alkoholický nápoj arak. Jeho případným kvašením se získává málo známý kokosový ocet. Čím dál větší oblibě se však těší jiný produkt získaný z toddy – kokosový cukr, který se vyrábí jejím zahuštěním [8].

2.2.8 Piniové ořechy

Piniové ořechy jsou součástí šišek jehličnatého stromu borovice pinie (*Pinus pinea*) z čeledi borovicovitých (*Pinaceae*) rostoucí v oblasti pomezí USA a Mexika a v jižní Evropě. Piniové ořechy obsahují bílé, jedlé piniové jádro – tzv. piňolky, které se konzumují syrové nebo se využívají v kulinářství [6].

2.3 Další druhy skořápkových plodů

V následující podkapitole jsou charakterizovány druhy skořápkových plodů, které nejsou definovány legislativou, obecně jsou však do kategorie skořápkových plodů řazeny.

2.3.1 Makadamové ořechy

Makadamové ořechy, také puma ořechy, jsou jádra pecek plodů stromů rodu *Macadamia* z čeledi *Proteaceae* pěstovaných v tropických a subtropických oblastech Austrálie, Asie i Ameriky. Peckovice s tvrdou peckou obsahuje jedno jádro – na obrázku 7, které je zpravidla konzumováno syrové nebo pražené. Makadamové ořechy se zpracovávají také do pečiva, dezertů a na výrobu oleje. Protože se plody tvoří jen z některých květů makadamie, patří makadamové ořechy mezi nejdražší na trhu [7].



Obrázek 7: Makadamové ořechy a vyloupaná jádra [4]

2.3.2 Pekanové ořechy

Pekanové ořechy jsou pecky plodu ořechovce pekanového (*Carya Illinoensis*) z čeledi ořeškovitých (*Juglandaceae*) obsahující chutné semeno. Ořechovec pekanový je vysoký strom pocházející z USA, který vzhledem připomíná Evropanům známější ořešák královský. I samotná semena, na obrázku 8, jsou vzhledem velmi podobná, pekanové ořechy však mají v porovnání s vlašskými jemnější chuť [6].

Stejně jako makadamové, jsou i pekanové ořechy drahou lahůdkou, která se konzumuje převážně čerstvá nebo se zpracovává v potravinářství do cukrovinek nebo na výrobu oleje [6].



Obrázek 8: Dozrávající pekanový ořech a vyloupaná jádra [4]

2.3.3 Pistácie

Pistácie jsou peckovice nízkého stromu pistácie pravé (*Pistacia vera*) z čeledi ledvinovnickovitých (*Anacardiaceae*) rostoucí v subtropických oblastech Přední Asie

a Středomoří. Hladká skořápka pecky obklopuje na řezu zelená semena, tzv. zelené mandle [6]. Dozrávající plody pistácií ve skořápkách jsou zobrazeny na obrázku 9.

Samotné pistácie se konzumují v různých úpravách – přírodní, pražené, solené, přidávají se také do pečiva, cukrářských výrobků a cukrovinek – např. zmrzliny, krémy. Protože obsahují velké procento tuků, viz tabulka 3, jsou také zpracovávány pro výrobu pistáciového oleje [6].



Obrázek 9: Dozrávající plody pistácie [4]

2.4 Chemické složení skořápkových plodů

Skupina skořápkových plodů obecně je zdrojem velkého množství energie a velmi důležitým zdrojem kvalitních rostlinných tuků s obsahem značného množství esenciálních mastných kyselin – MK [9]. Skořápkové plody obsahují také velké množství rostlinných bílkovin, které jsou však v porovnání s živočišnými, neplnohodnotné. Limitující jsou především sirné aminokyseliny cystein a methionin a lysin [9, 10].

Jak je uvedeno v tabulce 3, obsah sacharidů ve 100 g plodů se pohybuje kolem 15–20 g, přičemž obsah jednoduchých sacharidů, označeny jako cukry, je 4–5 g. Z výživového hlediska jsou ořechy také velmi bohatým zdrojem minerálních látek, vitaminů a antioxidantů [9].

Tabulka 3: Základní nutriční hodnoty ve 100 g sušených skořápkových plodů [11]*

	Energie [kJ]	T [g]				B [g]	S [g]		V [g]
		celk.	nasyc.	monoén.	polyén.		celk.	cukry	
Vlašské ořechy	2740	61,2	5,4	9,5	43,7	16,3	17,4	2,2	10,8
Lískové ořechy	2869	66,5	6,3	52,6	4,7	14,4	14,3	5,0	8,8
Mandle	2544	53,5	4,1	33,5	13,5	24,6	17,3	3,8	9,9
Kešu	2470	45,6	10,4	25,9	7,4	17,7	29,4	5,3	2,1
Arašidy	2526	49,3	9,2	22,2	15,7	25,3	20,6	3,4	8,7
Para ořechy	2837	65,2	15,0	19,3	28,1	16,4	12,3	2,2	7,2
Kokosové ořechy ^[1]	2830	65,7	-	-	1,1	6,4	23,8	-	12,6
Piniové ořechy	2419	44,5	3,4	17,2	21,4	17,8	31,3	4,3	6,9
Makadamové ořechy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pekanové ořechy	2933	69,6	6,5	32,5	26,8	12,1	13,7	4,2	9,2
Pistácie	2500	50,0	5,6	27,5	14,5	20,1	23,9	7,4	10,4

* všechny hodnoty jsou uvedeny pro 100 g loupáního jedlého podílu

^[1] mletý sušený kokos (kopra),

T – tuky, B – bílkoviny, S – sacharidy, V – vláknina, celk. – celkem, nasyc. – nasycené mastné kyseliny, monoén. – monoénové = mononenasycené mastné kyseliny, polyén. – polyénové = polynenasycené mastné kyseliny

2.4.1 Lipidy

Hlavními složkami lipidů, které jsou důležité z hlediska výživy a zároveň definují jejich vlastnosti, jsou mastné kyseliny. Lipidy skořápkových plodů obsahují kyseliny nasycené i nenasycené s různým počtem dvojných vazeb, mononenasycené a polynenasycené. Z pohledu plodů jsou nejvíce zastoupené kyseliny laurová, palmitová, stearová, olejová, linolová a linolenová. Složení mastných kyselin skořápkových plodů definuje také složení z nich získaných olejů. Zastoupení jednotlivých mastných kyselin v získaném oleji ovlivňuje jeho skupenství, resp. bod tání. Obsah nasycených mastných kyselin je přímo úměrný hodnotě bodu tání – např. kokosový olej s obsahem nasycených MK až 95 % je za pokojové teploty tuhý, taje při teplotě okolo 25 °C, zatímco arašidový olej obsahující okolo 80 % nenasycených MK má bod tání mnohem nižší a za běžných teplot je tekuté konzistence, podobně jako ostatní oleje ze skořápkových plodů [10]. Podle spektra obsažených MK je také ovlivněna trvanlivost jednotlivých výrobků. Složení olejů vybraných pro experimentální část je uvedeno v příloze 1. Jakosti a změnám lipidů se podrobněji věnuje kapitola 2.7.

2.4.1.1 Esenciální mastné kyseliny

Skořápkové plody, jako důležitá složka racionální výživy, jsou zdrojem esenciálních mastných kyselin, které patří mezi polynenasycené kyseliny. Polynenasycené kyseliny se podle polohy poslední dvojné vazby od konce řetězce dělí na řadu n-3 a n-6. Esenciálními kyselinami, které je nezbytné přijímat potravou, jsou pro člověka kyselina linolová řady n-6 a kyselina α -linolenová řady n-3. Mezi zdroje kyseliny linolové patří mnoho druhů skořápkových plodů – např. arašidy, mandle, lískové ořechy [10]. Bohatým zdrojem kyseliny α -linolenové jsou vlašské ořechy [5].

2.4.2 Vitaminy a minerály

Jak je uvedeno v tabulce 4, jsou skořápkové plody významným zdrojem především hořčíku, zinku, mědi a manganu. *Hořčík* se společně s vápníkem podílí na regulaci dráždivosti buněk, je tedy důležitý pro činnost svalové a nervové soustavy. Je také důležitý pro funkci enzymů energetického metabolismu. *Zinek* je kofaktorem mnoha významných enzymů, je proto nezbytný pro správné fungování velké části probíhajících biochemických procesů jako jsou energetický metabolismus, antioxidační systém a genové exprese. *Měď* je stejně jako ostatní minerály kofaktor enzymů. Zajišťuje funkci antioxidačně působící superoxiddismutasy, je nezbytná pro energetický metabolismus, podílí se na procesu krve tvorby. Také *mangan* je důležitým prvkem, který se jako součást enzymů podílí především na energetickém metabolismu [10].

Tabulka 4: Obsah vybraných minerálních látek ve 100 g skořápkových plodů [12]

	K [mg]	Ca [mg]	Mg [mg]	P [mg]	Fe [μg]	Zn [μg]	Cu [μg]	Mn [μg]
DDD	3–4 000	800	350	800	1 200–1 800	15 000	2–4 000	2–5 000
Vlašské ořechy	544	87	129	409	2 500	2 700	880	1 970
Lískové ořechy	636	226	156	333	3 800	1 870	1 280	5 700
Mandle	835	252	170	454	4 130	2 170	850	1 900
Kešu	552	31	267	373	2 800	2 090	3 700	840
Arašídý	661	40	160	341	1 820	2 830	764	1 600
Para ořechy	644	132	160	674	3 400	4 000	1 300	600
Kokosové ořechy	400	18	45	95	2 100	500	320	1300
Piniové ořechy	599	12	324	605	5 200	4 250	1 026	300
Makadamové ořechy	-	-	-	-	-	-	-	-
Pekanové ořechy	604	73	142	290	2 400	5 470	1 182	3 500
Pistácie	1 020	136	158	500	7 300	280	1 100	600

DDD – doporučená denní dávka

Pozn.: Tučné hodnoty jsou vyznačeny u potravin, které jsou vhodné k pokrytí denní potřeby

Z vitaminů má největší zastoupení v tucích rozpustný vitamin E, jehož aktivitu vykazuje 8 strukturně příbuzných derivátů chroman-6-olu, dělících se podle struktury na tokoferoly a tokotrienoly. Vitamin E zastává, v potravinách stejně jako v organismu, roli důležitého antioxidantu. Chrání především nenasycené mastné kyseliny před oxidací a zpomaluje tak procesy oxidačních změn v potravinách, viz kapitola 2.7. Principem antioxidačního působení je reakce s hydroperoxylovými radikály lipidů za vzniku hydroperoxidů a stabilního radikálu tokoferolu. Dochází tak k přerušení propagační fáze autooxidace a urychlení terminačních reakcí [10].

V menším množství jsou také obsaženy vitaminy skupiny B – thiamin, riboflavin, pyridoxin, které jsou důležité pro funkci metabolismu. Skořápkové plody však nepatří mezi jejich významné zdroje [10].

2.4.3 Antioxidanty

Skořápkové plody obsahují kromě již zmíněných složek také velmi důležité antioxidanty. Úlohou antioxidantů, jak vyplývá již z názvu, je inhibice oxidačních procesů, viz kapitola 2.7. Chrání proti oxidaci jak samotné potraviny, v nichž jsou obsažené, tak po jejich konzumaci mohou mít protektivní účinky také v lidském organismu. Jejich konzumace tedy hraje důležitou roli v péči o zdraví a prevenci onemocnění. Hlavními zástupci obsažených antioxidantů jsou doprovodné látky lipidů – již zmíněný vitamin E, konkrétně α -, β -, γ -tokoferol a karotenoidy. Dále pak vykazují antioxidační aktivitu obsažené fytosteroly a fenolické látky [13, 14]. Nejvíce antioxidantů obsahují neloupané vlašské a pekanové ořechy [15].

2.5 Konzumace skořápkových plodů a výrobků z nich a jejich vliv na lidský organismus

2.5.1 Obecná výživová doporučení

Problematickou životního stylu, a s ním úzce spojené výživy, který má velký dopad na lidské zdraví, se zabývá mnoho organizací – celosvětově především Světová zdravotnická organizace – World Health Organisation, WHO. Vzniká tak mnoho obecných i konkrétnějších výživových doporučení a strategií, jejichž společným cílem je především ochrana zdraví a prevence vzniku neinfekčních onemocnění hromadného výskytu – tzv. civilizační onemocnění. Výživová doporučení pro obyvatelstvo České Republiky vydává, v souladu s výživovými cíli pro Evropu vydanými WHO, Společnost pro výživu. Hlavní složkou skořápkových plodů, viz kapitola 2.4, jsou tuky, na které je v těchto doporučeních kladen velký důraz. Je doporučováno, aby:

- celkový podíl tuku v energetickém příjmu dospělé populace nepřekračoval 30 % optimální energetické hodnoty, u vyššího energetického výdeje 35 %.
- byl příjem nasycených mastných kyselin nižší než 10 %, polynenasycených 7 – 10 % z celkového energetického příjmu.
- byl poměr mastných kyselin řady n-6:n-3 maximálně 5:1.
- byl příjem *trans*-nenasycených mastných kyselin co nejnižší a nepřekročil 1 % z celkového energetického příjmu.
- byl příjem cholesterolu snížen na max. 300 mg za den.

Z pohledu postavení tuků ve výživě je jejich nesprávné složení uváděno mezi hlavními faktory nepříznivě působícími na lidské zdraví. Pro dosažení zmíněných cílů je doporučován právě zvýšený příjem rostlinných tuků a ořechů [16].

2.5.2 Vliv na zdraví konzumenta

Díky vysokému obsahu tuků je konzumace skořápkových plodů zdrojem velkého množství energie. Prováděné epidemiologické ani klinické studie však nenaznačují souvislost mezi jejich konzumací a zvyšováním tělesné hmotností, příp. vznikem obezity, resp. zvýšením hodnoty BMI – Body Mass Index. Výsledky mnoha studií naopak ukazují na úbytek tělesné hmotnosti, především tukové hmoty, jedinců, jejichž nízkokalorická dieta je doplněna pravidelným příjmem ořechů. Kvůli optimálnímu složení z pohledu nízkého obsahu sacharidů

a současně vysokému podílu proteinů jsou tak ořechy důležitou součástí mnohých redukčních diet [9].

Stejně tak studie ukazují vliv jejich konzumace na snižování rizika vzniku diabetu 2. typu a zlepšení stavu u jedinců již trpících touto nemocí. Hlavní roli v problematice diabetu 2. typu hraje především složení MK, resp. obsah n-3 MK ve skořápkových plodech, a také vysoký obsah vlákniny a hořčíku, jejichž zvýšený příjem je přímo spojován právě se sníženým rizikem vzniku tohoto onemocnění [17].

Obsažené n-3 MK a další bioaktivní molekuly jsou důležité i z pohledu prevence dalších chorob hromadného výskytu. Zvýšený příjem skořápkových plodů a tím i zmíněných látek pozitivně působí na kardiovaskulární systém [9]. Je prokázáno, že n-3 MK, mají vliv na regulaci hladiny cholesterolu – společně s vlákninou [18], a krevního tlaku, snižují riziko tvorby krevních sraženin a souvisejícího srdečního selhání, tlumí zánět, čímž ovlivňují funkci imunitního systému [19].

Vliv na regulaci hladiny cholesterolu a na profil krevních lipidů má také nízký poměr aminokyselin lysinu:argininu v obsažených bílkovinách. Tento poměr se u skořápkových plodů pohybuje v rozmezí 0,2–0,5. V porovnání s živočišnými bílkovinami, u kterých nabývá hodnot vyšších než 2, jsou tak rostlinné spojovány s nižším rizikem rozvoje kardiovaskulárních onemocnění [9].

Další složkou podílející se na ochraně kardiovaskulární zdraví jsou antioxidanty. Působí protektivně proti oxidačním procesům, ovlivňují tak například vznik aterosklerózy [15, 19]. Stejně tak hrají roli v prevenci vzniku nádorového bujení [19].

Obsažené minerály mají, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.4.2, různorodou úlohu v lidském organismu. Podle jejich jednotlivých funkcí je však patrné, že konzumace skořápkových plodů pozitivně působí na činnost nervového systému a metabolismus a napomáhá působení antioxidačních mechanismů.

2.5.3 Rizika konzumace

2.5.3.1 Mikrobiální kontaminace

Nesprávně pěstované a skladované skořápkové plody mohou podléhat mikrobiální kontaminaci. Nejzávažnější dopad z hlediska bezpečnosti potravin má kontaminace plísní *Aspergillus flavus*, příp. *A. parasiticus*, které se vyskytují v půdě v oblastech s teplým podnebím, čímž dochází ke kontaminaci často již před sklizní. Ke kontaminaci však dochází také sekundárně při skladování za vysoké vlhkosti a teploty, optimum růstu plísní je 25–42 °C. Riziko představuje především produkce aflatoxinů, skupiny toxinů označovaných aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂, M₁, M₂. Aflatoxiny jsou hepatotoxické, což se může u člověka projevovat selháním jater, v krajních případech až smrtí. Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny, byly aflatoxiny klasifikovány jako karcinogeny kategorie I – prokázané karcinogeny [20, 21]. Nejrizikovějšími surovinami jsou podzemnice olejná, pistácie, para ořechy a kopa [10].

Dalšími běžnými kontaminujícími plísněmi jsou *Aspergillus niger*, *Penicillium* spp [22].

2.5.3.2 Potravinová alergie

Skořápkové plody včetně výrobků z nich, současně s arašídami, které patří do samostatné kategorie, náleží včetně výrobků z nich mezi 14 potravinových alergenů vyvolávajících nejčastější potravinové alergie, jejichž přítomnost v potravinách je povinně označovaná podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 [23].

Nejčastějším alergenem z této skupiny jsou *arašídami*, s výskytem alergií pod 1 % u dospělých a 1–2% u dětí, častějším projevem bývá zvýšená citlivost, tzv. sensibilizace, u dětí až 12 %. Projevem alergické reakce, vyvolané především jejich konzumací, mohou být gastrointestinální, respirační, kardiovaskulární potíže, v krajním případě anafylaktický šok [24, 25]. Tyto projevy se objevují již 15 minut po konzumaci. Alergeny arašídů jsou termostabilní. Jejich zpracování za vysokých teplot, např. pražení, při kterém probíhá mnoho biochemických změn, může způsobit dokonce nárůst jejich alergenního potenciálu. Častým případem je výskyt zkřížené reaktivity arašídů a jiných zdrojů. Na základě mezidruhově příbuznosti bílkovin je to reaktivita na luštěniny, ořechy a semena, díky podobnosti alergenů je to pak reaktivita na pyl břízy či lísky, resp. lískových ořechů [24].

Dalším podstatným alergenem jsou *kešu ořechy* a to především kvůli jejich vzrůstající oblibě mezi spotřebiteli i výrobci potravin – riziko skryté expozice z výrobku. Příznaky reakce jsou jako u arašídů gastrointestinální a respirační potíže, výskyt anafylaktického šoku je u kešu značně vyšší. Kvůli taxonomické příbuznosti kešu s pistáciemi a potvrzeným zkříženým reakcím, je nutno při prokázání alergie na kešu vynechat z jídelníčku také *pistácie* a naopak [24, 26].

Alergie na *vlašské ořechy* je spojena se zkříženou reakcí na *pekanové ořechy* [24, 26]. *Líska obecná* se podílí na časté – až 5 % populace ČR – jarní pylové alergii, která vykazuje zkříženou reakci s pylem břízy. Na základě podobnosti alergenních bílkovin může docházet ke zkřížené reakci s *mandlemi*. Mandle samotné mají však nejnižší potenciál vyvolání alergické reakce a jejich konzumace tak může být bezpečná i pro člověka s alergií na ostatní skořápkové plody. Výskyt alergií na plody jako jsou *makadamové, para ořechy* nebo *piňolky*, není v současné době nijak výrazný [24].

2.5.3.3 Oxidované lipidy

Oxidované lipidy jsou jednou z hlavních příčin snížení jakosti potravin v průběhu jejich zpracování či skladování. Při oxidaci mastných kyselin, viz kapitola 2.7.2, mohou vznikat konečné produkty s potenciálním cytotoxickým a genotoxickým účinkem na lidský organismus. V trávicím traktu dochází k částečnému vstřebávání oxidovaných lipidů do lymfatického a krevního oběhu. Jejich příjem, má vliv na hladinu oxidovaných lipoproteinů v krevním séru. S tím úzce souvisí vyvolání zánětlivých reakcí v organismu a ovlivnění funkce trávicího a kardiovaskulárního systému s možností rozvoje aterosklerózy. Pravidelný příjem oxidovaných lipidů a produktů jejich oxidace je z těchto důvodů považován za hrozbu chronického ohrožení lidského zdraví. Konzumovaná potrava bohatá na tuky s obsahem snadno oxidovatelných, nenasycených, mastných kyselin by, nejen z těchto důvodů, měla být bohatá na obsah antioxidantů, které mohou omezit samotný průběh oxidace v potravinách, ale i vytvořit ochranný systém eliminující tyto sloučeniny v trávicím systému [27].

2.6 Zpracování skořápkových plodů

Pro správné zpracování skořápkových plodů je nezbytné především správné skladování, při kterém je nutno zabránit sekundární kontaminaci mykotoxiny, či jejich případnému žluknutí – viz kapitola 2.5.3. Proto je důležité plody před skladováním důkladně vysušit, skladovat je za snížené teploty a zabránit jejich zpětnému navlhnutí. V případě distribuce nebo prodeje jader – přírodních, pražených, ochucených, je nutné balení v obalech s vhodnými bariérovými vlastnostmi, aby se zabránilo přístupu kyslíku a tím již zmíněným změnám nutričních a senzorických vlastností [28].

Jedním z technologických postupů, využívaných před dalším zpracováním ořechů nebo při výrobě pochutin, je pražení. Při výrobě pražených arašídů je často využíváno olejové pražení, při kterém jsou po blanšírování v horké vodě a oloupaní slupek, plody fritovány v horkém oleji a poté většinou soleny. Pražení na sucho je prováděno při teplotě přibližně 160 °C, 20–30 minut. V průběhu pražení dochází k četným chemickým reakcím, především Maillardově reakci, a vzniku charakteristického aroma [28].

Jakákoliv technologie zpracování skořápkových plodů zahrnuje základní předběžné operace jako příjem suroviny a třídění, sušení na požadovanou vlhkost, odstranění skořápek a slupek, separace zbytků obalových vrstev a ostatních mechanických nečistot [29].

2.6.1 Výroba cukrovinek

Skořápkové plody jsou jednou z důležitých surovin při výrobě různých druhů nečokoládových i čokoládových cukrovinek a pochutin.

2.6.1.1 Výroba marcipánu

Jedním z významných a oblíbených výrobků ze skořápkových plodů je marcipán. Marcipán je homogenní, vysoko viskózní, měkká hmota vyráběná z loupaných sladkých mandlí, cukru, příp. škrobového sirupu. Pro snadné oddělení slupek, jsou mandle nejprve máčeny ve vodě o teplotě 60 °C. Oloupané mandle jsou poté nahrubo rozemlety a po smíchání s cukrem jsou zjemňovány na válcích. Z technologického hlediska je důležité, aby nedošlo k uvolnění tuku z mandlí a aby částice mandlí zůstaly větší než částice cukru, čímž si marcipán zachová charakteristickou mandlovou chuť. Vzniklá marcipánová hmota je zbavována vlhkosti restováním v restovacích kotlích a může být pak dále upravována přidávkem barviv, aromat, cukru, apod. [30].

2.6.1.2 Výroba nugátu

Nugát je oproti marcipánu tuková hmota složená z cukru, tuku a pražených skořápkových plodů – mandlí nebo lískových příp. vlašských ořechů. Vytríděná, oloupaná jádra se praží 30 minut při 130 °C, kdy dochází ke snižování vlhkosti a současně tvorbě charakteristického ořechového aroma. Pražená jádra jsou po smíchání s cukrem a tukem zjemňována na mlýnech a následně na válcových stolicích. Vznikající nugátová hmota je dále zjemňována tzv. procesem konšování při zvýšené teplotě. Poté je tvarována buď podobně jako čokoláda příp. jako karamelová hmota, která se zchladí a tvaruje do nekonečného válce rozkrajovaného na požadované tvary [30].

2.6.1.3 Výroba dražé

Jako dražé jsou označovány cukrovinky vyrobené nanesením cukrové nebo čokoládové vrstvy na vložku, jádro. Dražé se vyrábí v rotujícím dražovacím kotli, kde dochází k postupnému nanášení několika tenkých vrstev temperované čokolády, příp. cukrového roztoku na předem pogumovanou vložku. Po nanesení poslední vrstvy se dražé suší, resp. chladí a leští [30].

2.6.2 Výroba past

Pro výrobu past, tzv. másel, bývají využívány přírodní i pražené plody, které jsou drceny a dále homogenizovány do potřebné konzistence. Takto vyrobená ořechová másla jsou distribuována k přímé spotřebě nebo mohou být dále míchána se sladidly, kakaem apod. a přidávána jako surovina do cukrářských a pekařských výrobků nebo surovina pro výrobu pomazánek a nátěrek [28].

2.6.3 Výroba olejů

Tradiční technologie získávání rostlinných olejů bývají často založeny na principu lisování následovaného extrakcí výlisků organickým rozpouštědlem. Oleje ze skořápkových plodů, které jsou velmi cennou surovinou, jsou však získávány pouze lisováním, často lisováním za studena – viz pozn. 1. Po předúpravě plodů, popsané v úvodu kapitoly 2.6, je surovina dezintegrována na mlecích stolicích, aby došlo ke zvětšení povrchu a uvolnění tuku z buněčných struktur. Dalším krokem je kondicionování, při kterém je surovina za zvýšené teploty, okolo 100 °C, zahřívána nasycenou parou a následně sušena na požadovanou vlhkost. V tomto kroku dochází k biochemickým a fyzikálně-chemickým změnám – koagulace bílkovin, inaktivace enzymů, snížení viskozity oleje, narušení dosud nenarušených buněk. Následně je surovina lisována na lisu, kdy dochází k mechanickému uvolnění oleje. V důsledku působení vysokého tlaku dochází k záhřevu suroviny na teploty až 80 °C. Získaný olej následně prochází procesy mechanického čištění [28].

Nečistoty jsou z vylisovaného oleje odstraněny sedimentací, filtrací, příp. centrifugací. Pro odstranění hydrofilních nežádoucích složek jako jsou bílkoviny, fosfolipidy a různé slizové látky, je olej při čištění promýván vodou, tzv. hydratován¹. Další rafinační kroky jako neutralizace pro odstranění volných mastných kyselin, bělení, atd. nejsou u získávání olejů ze skořápkových plodů využívány [29, 31].

Získané oleje jsou využívány především v potravinářství, některé z nich však nacházejí využití také v kosmetickém průmyslu nebo aromaterapii – viz tabulka 5.

¹ Podle vyhlášky č. 397/2016 Sb. je olej lisovaný za studena olej získaný pouze mechanickými postupy vyluhování nebo lisování bez tepelného ohřevu, které nevedou ke změnám charakteru oleje a pro jeho vyčištění se používá pouze promývání vodou, usazování, filtrování a odstředování [32].

Tabulka 5: Možnosti kulinářského využití některých druhů olejů ze skořápkových plodů [33]

Druh oleje	Kulinářské využití
Vlašský	studená kuchyně, příprava sladkých pokrmů, vaření, dušení
Lískový	příprava sladkých pokrmů, dezertů
Mandlový	studená kuchyně, příprava sladkých pokrmů, dezertů
Arašídový	vaření, dušení, grilování, krátké smažení, pečení
makadamový	studená kuchyně, příprava sladkých pokrmů, dezertů, dušení
kokosový	studená kuchyně, smažení, pečení

2.7 Změny lipidů během skladování

Při skladování potravin dochází v závislosti na jejich složení k určitým změnám. V případě skořápkových plodů, jejichž významnou složkou jsou již zmíněné lipidy, jde převážně o takzvané žluknutí. Žluknutím je označován soubor změn vedoucích ke změně senzorických vlastností lipidů a zhoršení celkové jakosti potraviny. Mezi procesy žluknutí lipidů patří žluknutí hydrolytické, oxidační a ketonové a chuťová reverze [10].

2.7.1 Hydrolytické žluknutí

Hydrolytickým štěpením tuků v důsledku přítomnosti nativních nebo mikrobiálních enzymů dochází k uvolnění volných mastných kyselin z molekul triacylglycerolů. Jde tedy o reakci opačnou k esterifikaci. Většina takto uvolněných kyselin nemá vliv na senzorickou kvalitu tuků, u tuků obsahujících MK s krátkým nebo středně dlouhým řetězcem – mléčný, kokosový, palmojádrový tuk, však může docházet ke vzniku nežádoucího aroma [10].

2.7.2 Oxidační žluknutí

Oxidační reakce může v potravinách vyvolat mnoho činitelů. Nejběžnější reakcí lipidů při jejich skladování a zpracování je autooxidace MK vzdušným, tripletovým kyslíkem. Reakce probíhá radikálovým mechanismem ve 3 fázích. V první iniciační fázi dochází vlivem působení zvýšené teploty, záření a dalších faktorů k homolytickému štěpení vazby a ke vzniku volného radikálu MK a vodíkového radikálu. Dalším krokem je propagace, při které dochází k reakci vysoce reaktivního radikálu MK s molekulou kyslíku za vzniku peroxylového radikálu. Vzniklý radikál může reagovat s další molekulou MK za vzniku hydroperoxidu a nového volného radikálu MK. Tento řetězec reakcí se může mnohokrát opakovat. Při zvyšující se koncentraci volných radikálů se zvyšuje také pravděpodobnost jejich vzájemné reakce za vzniku neradikálového produktu, čímž dochází k ukončení řetězové reakce, které je označováno jako terminace [10].

Při běžných teplotách dochází k autooxidaci pouze u nenasycených MK. Při odštěpení vodíku dochází u molekul s více nenasycenými vazbami k posunu dvojné vazby a izomeraci produktu, což vede k tvorbě velkého množství různých cis- a trans-isomerů. U nenasycených MK je ke štěpení vazby potřebná větší aktivační energie a k autooxidačním reakcím tak dochází zpravidla při zvýšených teplotách – např. při smažení, pečení [10].

Primárními produkty autooxidace jsou hydroperoxy MK vzniklé ve 2. fázi reakce. Především hydroperoxy MK s dvěma a třemi dvojnými vazbami jsou velmi nestabilní a rychle dochází k jejich štěpení na peroxylový, resp. alkoxylový radikál, které znovu iniciují další reakce, což za předpokladu dostatku kyslíku navyšuje rychlost průběhu autooxidační reakce. Sekundárními produkty autooxidace jsou produkty vzniklé při následných reakcích hydroperoxidů MK a jejich radikálů. Z velkého množství vznikajících sloučenin je důležité jmenovat též sekundární produkty, které vznikají štěpením řetězce alkoxylového radikálu. Jsou jimi nasycené i nenasycené aldehydy a uhlovodíky jejichž přítomnost dává vzniku typického žluklého aroma tuků a olejů [10].

Další důležitou oxidační reakcí lipidů je oxidace singletovým kyslíkem – fotooxidace. Velmi reaktivní singletový kyslík vzniká v potravinách fotochemickými reakcemi za přítomnosti fotosensibilizátorů. Fotosensibilizátory jsou látky, které obsahují konjugovaný systém dvojných vazeb a přenáší energii absorbovanou při ozáření viditelným světlem na tripletový kyslík za vzniku kyslíku singletového, čímž dochází ke katalýze samotné oxidační reakce a vzniku hydroperoxidů. V rostlinných olejích se jako fotosensibilizátory uplatňují především chlorofyly a jejich rozkladné produkty. Proti účinkům fotosensibilizátorů působí látky zhášející singletový kyslík – karotenoidy, tokoferoly, kyselina L-askorbová [10].

Rychlost oxidačních reakcí je možno ovlivnit. Zpomalení rychlosti oxidace lze dosáhnout snížením intenzity působení primárního faktoru iniciujícího oxidaci – záření, přístup kyslíku, teploty, přítomnosti kovů s přechodnou valencí nebo přidavkem inhibitorů oxidace. Inhibitory oxidace působí rozdílnými mechanismy, ale jednotně působí na zpomalení reakce. Patří mezi ně antioxidanty – viz kapitola 2.4.3, které reagují s volnými radikály a urychlují reakce v terminační fázi. Dále pak synergisty posilující účinek antioxidantů – vícesytné kyseliny a jejich lipofilní deriváty, látky chelatotvorné vyvazují z prostředí ionty kovů za tvorby komplexů [10] a tzv. retardéry redukující hydroperoxy reakcí – např. sirné sloučeniny [34].

2.7.3 Ketonové žluknutí

Další možnou reakcí probíhající ve skladovaných lipidech je ketonové, někdy také parfémové, žluknutí, ke kterému dochází v důsledku oxidace MK přítomnými mikrobiálními enzymy. Produkty ketonového žluknutí jsou aromatické methylketony, jejichž přítomnost je např. v másle či kokosovém oleji nežádoucí. Jako žádoucí složky se však vyskytují v aroma některých zrajících sýrů [10].

2.7.4 Chuťová reverze

Posledním typem možného žluknutí skladovaných tuků je chuťová reverze, která je typická pro sójový olej či jiné oleje s obsahem linolenové kyseliny. Charakteristickým znakem chuťové reverze je vznik aroma připomínající trávu či fazole. Tento pach způsobují produkty rozkladu hydroperoxidů, mj. deriváty furanu [10].

2.8 Metody používané pro sledování změn ve složení lipidů

Pro sledování změn ve složení lipidů během skladování a tepelného zpracování je používáno široké spektrum analytických metod. Patří mezi ně metody základní volumetrické analýzy,

kteří slouží ke stanovení jednotlivých tukových charakteristik, z nichž nejdůležitější jsou normované metody stanovení čísla kyselosti dle ČSN EN ISO 660 a peroxidového čísla dle ČSN EN ISO 3960 [35–38].

Další skupinou jsou metody spektrální. Spektrofotometrie v UV oblasti se používá pro stanovení obsahu sekundárních produktů oxidace – stanovení koncentrace konjugovaných dienu [39–41], a koncentrace aldehydů vyjádřená jako p-anisidinové číslo [39]. Rychlým vývojem však v současné době prochází metody založené na spektroskopickém stanovení vlastností lipidů v oblasti infračervené. Jsou zaváděny metody pro stanovení volných mastných kyselin v blízké infračervené oblasti [41–42] nebo trans-mastných kyselin ve střední infračervené oblasti [43]. S vývojem metod využívajících Fourierovy transformace se zvyšuje potenciál pro zavedení nových, rychlejších metod stanovení například peroxidového [44] nebo p-anisidinového čísla [45].

Složení lipidů je nejběžněji stanovováno metodou plynové chromatografie ve formě methylesterů mastných kyselin podle ČSN EN ISO 16 966 [37, 46–49].

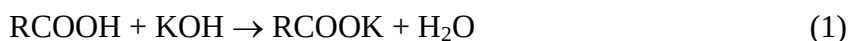
Pro získání informací o oxidační stabilitě živočišných a rostlinných tuků a olejů slouží zrychlený oxidační test podle ČSN EN ISO 6886, jinak také nazývaný metoda Rancimat, jehož principem je stanovení oxidačních produktů vzniklých při urychlené oxidaci za intenzivního prokysličování a zahřívání [37, 50].

Vzhledem k dostupnému vybavení byly v rámci této práce pro sledování oxidační stability lipidů ve výrobcích ze skořápkových plodů použity níže uvedené, standardně využívané metody.

2.8.1 Stanovení vybraných tukových charakteristik

2.8.1.1 Číslo kyselosti – $\check{C}_k$

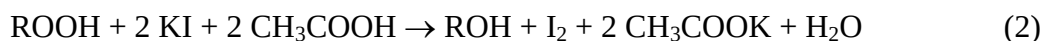
Číslo kyselosti udává počet mg KOH potřebných k neutralizaci volných mastných kyselin v 1 g tuku. Metoda je založena na principu neutralizace volných karboxylových skupin mastných kyselin hydroxidem podle následující rovnice [51].



Číslo kyselosti tedy poskytuje informaci o množství volných mastných kyselin ve vzorku, které mohou mimo jiné vznikat při skladování jako produkt hydrolýzy tuků v důsledku lipolytické aktivity [52].

2.8.1.2 Peroxidové číslo – $\check{C}_p$

Peroxidové číslo udává μg peroxidově vázaného kyslíku, respektive množství peroxidů v 1 g tuku – vyjadřováno také jako miliekvivalent O_2 na kilogram vzorku. Principem metody je titrační stanovení jodu, vyloučeného za podmínek metody při oxidaci jodidu přítomnými peroxidy, odměrným roztokem thiosíranu sodného podle uvedených rovnic 2 a 3 [51].



Stanovení peroxidového čísla slouží k posouzení stupně žluknutí tuků [51], které je způsobeno autooxidací tuků vzdušným kyslíkem. Jeho hodnota poskytuje informace o počáteční fázi žluknutí ještě před senzorickými změnami způsobenými sekundárními produkty [52].

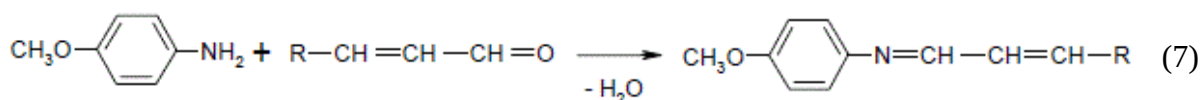
2.8.2 Spektrální stanovení

2.8.2.1 Stanovení kyselin s konjugovanými dvojnými vazbami

Metoda využívá vzniku charakteristických absorpčních spekter kyselin s konjugovanými dvojnými vazbami v oblasti ultrafialového záření, přičemž poloha charakteristických maxim a minim je dána jejich počtem [51]. Konjugované dieny absorbují při 233 nm, trieny dosahují absorpčního maxima při 268, 278 nm a minima 262, 274 nm [39].

2.8.2.2 *p*-anisidinové číslo

Hodnota *p*-anisidinového čísla informuje o množství aldehydů (především 2-alkenalů) vzniklých při rozkladu peroxidů lipidů. Spektrofotometrická metoda je založena na měření absorbance vzorku v organickém rozpouštědle po reakci s *p*-anisidinem, podle následující reakce (7):



p-anisidinové číslo se vyjadřuje jako 100 násobek absorbance 1 g vzorku s činidlem ve 100 ml roztoku při 350 nm v 1 cm kyvetě proti slepému vzorku.

2.8.3 Stanovení složení mastných kyselin pomocí plynové chromatografie

Plynová chromatografie (GC) je jednou ze základních chromatografických analytických metod, jejichž principem je separace látek na základě rozdílné interakce analytů se stacionární fází. Analyty jsou látky těkavé, případně netěkavé převedené na těkavé deriváty, v plynné fázi, které jsou po nástřiku v injektoru, unášeny nosným plynem chromatografickým systémem až k detektoru, nejčastěji plamenově ionizačnímu (FID) nebo hmotnostnímu. V detektoru jsou na základě vzniklého signálu zaznamenány [53].

Detekce pomocí FID spočívá v ionizaci molekul analytu v plynu vycházejícího z kolony v plameni hořáku tvořeného nosným a pomocným plynem. Ionty vzniklé spálením směsi jsou poté detekovány na nabitých elektrodách a vzniklý signál je přenesen do analyzátoru, který graficky vyhodnocuje intenzitu signálu v závislosti na čase. Výsledným grafickým obrazem je chromatogram, který nese informace o polohách – retenčních časech, a plochách jednotlivých zaznamenaných píků, které slouží ke kvalitativnímu a kvantitativnímu vyhodnocení [53].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použité laboratorní vybavení a chemikálie

3.1.1 Přístroje

- Plynový chromatograf TRACE GC (ThermoQuest Italia S. p. A., Itálie) s plamenově-ionizačním detektorem a split/splitless injektorem
- Vodní lázeň TW2, Julabo, Německo
- Předvážky EK-600i, A&D Instruments LTD., Japonsko
- Topné hnízdo LTHS 100, Brněnská Drutěva, v. d., Česká republika
- Vakuová rotační odparka KIKA WERKE-RVO6-ML, Německo

3.1.2 Laboratorní pomůcky

- Běžně dostupné laboratorní sklo
- Extrakční nástavec pro destilaci podle Soxhleta
- Zpětný chladič
- Mikropipeta Biohit-Proline

3.1.3 Chemikálie

Chemikálie pro extrakci podle Soxhleta:

- Petrolether p. a., Lach-Ner, Česká republika

Chemikálie pro stanovení čísla kyselosti:

- Kyselina octová 99 % p. a., Lach-Ner, Česká republika
- Chloroform p. a., Lach-Ner, Česká republika
- Etanol 96% p. a., Lach-Ner, Česká republika
- Hydroxid draselný p. a., Lach-Ner, Česká republika

Chemikálie pro stanovení peroxidového čísla:

- Etanol 96% p. a., Lach-Ner, Česká republika
- Thiosíran sodný Lach-Ner, Česká Republika
- Hydroxid draselný p.a., PENTA, Česká Republika
- Jodid draselný, PENTA, Česká Republika
- Škrob rozpustný, PENTA, Česká Republika

Chemikálie pro kyselou esterifikaci s BF_3 :

- Hydroxid sodný p. a., Lach-Ner, Česká republika
- Methanol p. a., Lach-Ner, Česká republika
- Bortrifluorid (14% roztok v metanolu), p. a., SIGMA-ALDRICH, Německo
- Isooktan 99,7%, SIGMA-ALDRICH, Německo
- Chlorid sodný, p. a., PENTA, Česká republika
- Bezvodý síran sodný, p. a., PENTA, Česká republika

Chemikálie pro stanovení MK

- Směsný standard methylesterů mastných kyselin, Supelco™ 37 Component FAME Mix, SIGMA-ALDRICH, Německo

3.1.4 Plyny

- Dusík 5.0 SIAD v tlakové bombě s redukčním ventilem a kovovou membránou
- Vodík 5.5 SIAD v tlakové bombě s redukčním ventilem
- Vzduch 5.0 SIAD v tlakové bombě s redukčním ventilem pro kyslík

3.2 Analyzované vzorky

Pro experimentální část byly vybrány 3 vzorky olejů a 1 vzorek 100% másla vyrobené ze skořápkových plodů s následující specifikací:

Kokosový olej – 100% panenský bio kokosový olej lisovaný za studena z čerstvé kokosové dužiny, bez přísad, konzervantů a barviv.

Vlašský olej – jednodruhový rostlinný olej lisovaný z pražených jader vlašských ořechů.

Arašídový olej – 100 % olej z podzemnice olejně.

Arašídové máslo – 100% arašídové máslo z pražených plodů podzemnice olejně.

Všechny vzorky byly po 2 kusech zakoupeny v prodejnách se zaměřením na zdravou výživu. Přehled vzorků je uveden v tabulce 6. V příloze 2 jsou uvedeny nutriční hodnoty uvedené na obalech produktů.

Tabulka 6: Přehled analyzovaných vzorků

Produkt	Druh	Velikost balení	Teplota skladování [°C]	Označení vzorku
Olej	kokosový	200 ml	4	K4
	kokosový	200 ml	20	K20
	vlašský	250 ml	4	V4
	vlašský	250 ml	20	V20
	arašídový	250 ml	4	A4
	arašídový	250 ml	20	A20
Máslo	arašídové	500 g	4	M4
	arašídové	500 g	20	M20

Každý produkt byl skladován ve tmě při 2 různých teplotách: v chladničce při 4 °C a při laboratorní teplotě přibližně 20 °C – viz tabulka 6. Změny vybraných charakteristik produktů byly sledovány po deklarované dobu trvanlivosti – 3 měsíce od otevření v případě olejů a 1 měsíc po otevření v případě másla. Poslední kontrolní odběr byl proveden po doporučené době skladování ve stejné periodě jako pravidelné odběry. Rozpis odběrů uvádí tabulka 7.

Tabulka 7: Rozpis odběrů vzorků

Odběr	Oleje		Máslo	
	Datum	Doba skladování [dny]	Datum	Doba skladování [dny]
1	6. 1. 2017	0	18. 1. 2017	0
2	27. 1. 2017	21	1. 2. 2017	14
3	14. 2. 2017	39	14. 2. 2017	28
4	7. 3. 2017	60	28. 2. 2017	41
5	27. 3. 2017	81	-	-
6	18. 4. 2017	102	-	-

3.3 Pracovní postupy

3.3.1 Příprava vzorků k analýze

Vzorky olejů byly analyzovány bez předchozích úprav, s výjimkou kokosového oleje, který byl před analýzou temperován ve vodní lázni na 26 °C, aby došlo k jeho rozpuštění.

Pro získání tuku ze vzorku arašídového másla byla zvolena extrakce podle Soxhleta, která je využívána pro kvantitativní stanovení tuků. Metoda je založená na principu kvantitativní extrakce tuků z homogenizovaného vzorku organickým rozpouštědlem ve speciálním extraktoru pod zpětným chladičem [51].

Do extrakční patry bylo naváženo 30 g vzorku. Vzorek byl extrahován petroletherem v Soxhletově extraktoru po dobu 5 hodin. Poté bylo rozpouštědlo oddestilováno na vakuové rotační odparce a vzorek byl použit pro další analytická stanovení.

3.3.2 Stanovení čísla kyselosti a kyselosti podle ČSN EN ISO 660

Do titrační baňky byly naváženy 2 g vzorku s přesností 0,01 g. Ke vzorku bylo přidáno 50 ml ethanolu a 5 kapek 1% fenolftaleinu. Po přidání varných kuliček byl obsah baňky zahříván na topné desce až k varu a poté ihned titrován odměrným roztokem KOH v ethanolu o koncentraci $c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ do stálého slabě růžového zbarvení. Současně byl proveden slepý pokus [35]. Pro každý vzorek bylo číslo kyselosti stanoveno ve 3 paralelních analýzách.

Hodnota čísla kyselosti ($\check{C}_k$) byla vypočtena podle vztahu (1) [35]:

$$\check{C}_k = 56,11 \cdot \frac{c_{\text{KOH}} \cdot (V_{\text{KOH}} - V_0)}{m_v} \quad [\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}], \quad (1)$$

kde c_{KOH} – koncentrace odměrného roztoku KOH [$\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$],

V_{KOH} – objem odměrného roztoku KOH spotřebovaného na titraci vzorku [ml],

V_0 – koncentrace odměrného roztoku KOH spotřebovaného na slepý pokus [ml],

m_v – navážka vzorku [g].

3.3.3 Stanovení peroxidového čísla podle ČSN EN ISO 3960

Do Erlenmayerovy baňky se zábrusem byly naváženy 2 g vzorku s přesností 0,01 g. Poté bylo k vzorku přidáno 50 ml roztoku organických rozpouštědel, vzniklého smícháním kyseliny octové a chloroformu v poměru 3:2, a 1 ml nasyceného roztoku KI. Po přesně 1 minutě byla reakce ukončena přidáním 30 ml destilované vody. Směs byla po přidavku škrobového mazu titrována odměrným roztokem thiosíranu sodného o koncentraci $c = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ do odbarvení [36]. Pro každý vzorek bylo peroxidové číslo stanoveno ve 3 paralelních analýzách.

Peroxidové číslo ($\check{C}_p$) bylo vypočteno podle vztahu (2) [36]:

$$\check{C}_p = 1000 \cdot \frac{c_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot (V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} - V_0)}{m_v} \left[\mu\text{g} (1/2 \text{ ROOH}) \cdot \text{g}^{-1} \right], \quad (2)$$

kde $c_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – koncentrace odměrného roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ [$\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$],

$V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – objem odměrného roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ spotřebovaného na titraci vzorku [ml],

V_0 – koncentrace odměrného roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ spotřebovaného na slepý pokus [ml],

m_v – navážka vzorku [g].

3.3.4 Stanovení mastných kyselin pomocí plynové chromatografie

3.3.4.1 Příprava methylesterů mastných kyselin podle ČSN EN ISO 5509

Pro uvolnění vázaných MK bylo 50 μl vzorku zahříváno v 50 ml baňce 7 minut pod zpětným chladičem se 4 ml methanolického roztoku NaOH o koncentraci $c = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Poté bylo přidáno 5 ml 14% methanolického roztoku BF_3 a reakční směs byla dále zahřívána 3 minuty. Reakce byla ukončena přidavkem 3 ml isooktanu. Bez chlazení bylo do směsi přidáno 20 ml nasyceného roztoku NaCl. Po intenzivním 15 vteřinovém vytřepání byly z isooktanové fáze odebrány 2 ml do vialky a vysušeny bezvodým Na_2SO_4 .

Pro stanovení celkového obsahu MK ve vzorku byl 1 μl takto esterifikovaného vzorku analyzován na GC–FID [46].

3.3.4.2 Podmínky metody stanovení mastných kyselin

Plynový chromatograf TRACE GC (ThermoQuest S.p.A., Itálie)

Autosampler AI/AS 3000

Kapilární kolona: DB-23 o rozměrech 60 m x 0,25 mm x 0,25 μm

Teplotní program:

- 60 °C 10 minut
- vzestupný gradient:
 - 12 °C·min⁻¹ do 200 °C s výdrží 10 minut
 - 5 °C·min⁻¹ do 220 °C s výdrží 15 minut
 - 10 °C·min⁻¹ do 240 °C s výdrží 7 minut

Dávkování vzorku

- Teplota injektoru: 250 °C
- Splitless time: 5 minut
- Dávkování: autosampler bez děliče toku (splitless) – 1 μl vzorku

Nosný plyn:

- Průtok dusíku: $0,5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$

Detektor: FID (plamenově-ionizační)

- Teplota detektoru: $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Průtok vzduchu: $350 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$
- Průtok vodíku: $35 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$
- Make-up dusíku: $30 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$

Celková doba analýzy: 60 minut

3.3.4.3 Identifikace a kvantifikace mastných kyselin ve vzorcích

Mastné kyseliny byly stanoveny po převedení na těkavé methylestery – MEMK. Identifikace MEMK ve vzorcích byla provedena na základě srovnání retenčních časů jednotlivých MEMK ve standardu – viz příloha 3. Kvantifikace MEMK byla provedena následujícím výpočtem (3):

$$c_{\text{MEMK}} = \frac{c_{\text{S}} \cdot P_{\text{MEMK}}}{P_{\text{S}}} [\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}], \quad (3)$$

kde c_{MEMK} – koncentrace MEMK ve vzorku $[\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}]$,

c_{S} – koncentrace MEMK ve standardu $[\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}]$,

P_{MEMK} – plocha píku MEMK ve vzorku,

P_{S} – plocha píku MEMK ve standardu.

Vypočtené množství MEMK bylo přepočteno na obsah MK podle následujícího vztahu (4):

$$c_{\text{MK}} = \frac{c_{\text{MEMK}} \cdot Mr_{\text{MK}}}{Mr_{\text{MEMK}}} [\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}], \quad (4)$$

kde c_{MK} – koncentrace MK ve vzorku $[\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}]$,

Mr_{MK} – molární hmotnost MK $[\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}]$,

Mr_{MEMK} – molární hmotnost MEMK $[\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}]$.

3.4 Statistické zpracování výsledků

Naměřená data byla vyhodnocena pomocí programu Microsoft Office Excel 2010. Z 3 hodnot čísel kyselosti, vypočtených pro každý měřený vzorek, byl vypočten aritmetický průměr, který byl vynesena do grafu závislosti hodnoty čísla kyselosti na době skladování. Byla vypočtena směrodatná odchylka průměru, která byla rozšířena o interval spolehlivosti 95 %, kde $\alpha = 0,05$, $n = 3$, vyneseny do grafu jako chybová úsečka. Výsledky diskutované v textu jsou vyjádřeny ve tvaru aritmetický průměr $\pm$ směrodatná odchylka. Vliv rozdílných teplot skladování na hodnocené parametry byl statisticky vyhodnocen pomocí Studentova nepárového t-testu, kde $\alpha = 0,05$, $n = 3$. Stejným způsobem byly zpracovány výsledky získané při stanovení peroxidového čísla.

Data získaná při stanovení složení mastných kyselin byla zprůměrována ($n = 2$). Výsledky jsou po přepočtu na procentuální obsah jednotlivých mastných kyselin v analyzovaném vzorku vyjádřeny jako průměrná hodnota v %.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

V rámci této práce byly analyzovány 3 vzorky olejů a 1 vzorek másla vyrobené ze skořápkových plodů. Podstatou práce je skladovací pokus, kdy každý produkt byl skladován při dvou teplotách – 4 °C, 20 °C; označení vzorků je uvedeno v tabulce 6. Po deklarovanou dobu trvanlivosti, tj. 3 měsíce od otevření v případě olejů a 1 měsíc po otevření v případě másla, včetně kontrolního odběru po doporučené době skladování, byly sledovány změny vybraných charakteristik.

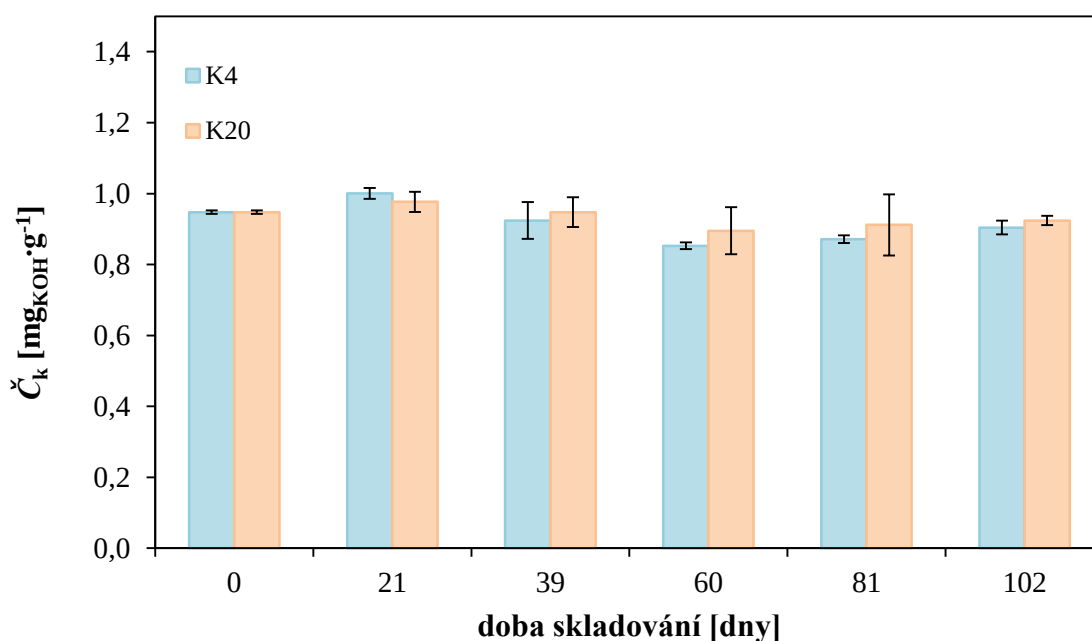
Pro extrakci tuku ze vzorků arašidového másla byla použita extrakce podle Soxhleta s následným odpařením rozpouštědla na vakuové rotační odparce, která je běžně využívána pro kvantitativní stanovení tuků [51]. V rámci této práce byla použita extrakce jako první krok přípravy vzorků másla k analýze. Takto získaný tuk pak byl analyzován obdobně jako ostatní vzorky.

4.1 Stanovení čísla kyselosti

Číslo kyselosti, informující o obsahu volných mastných [51], bylo stanoveno za účelem sledování stupně hydrolytického rozkladu tuků ve vzorcích.

4.1.1 Kokosový olej

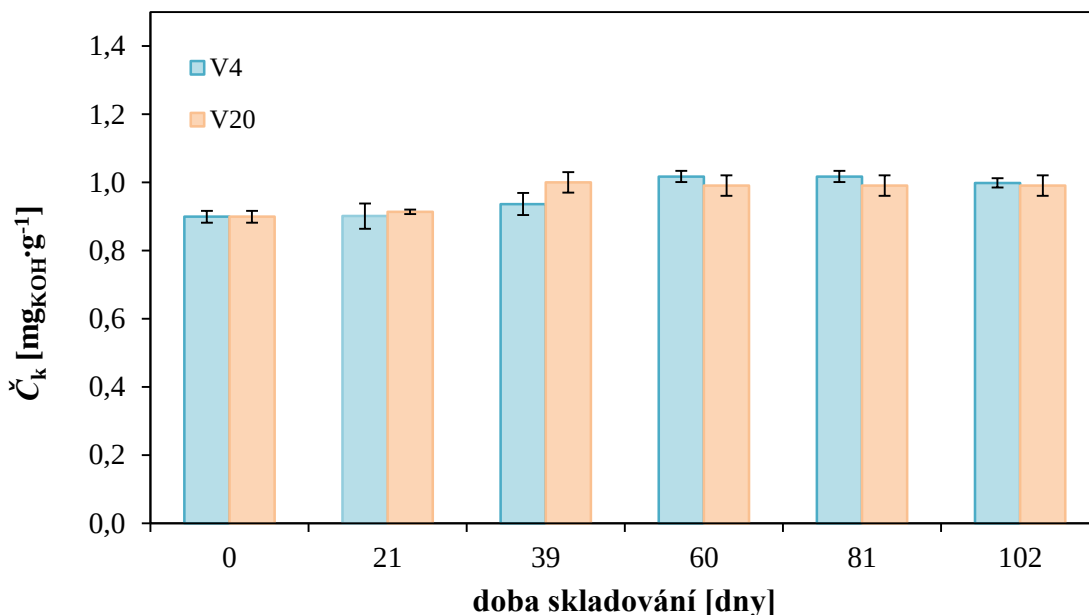
Číslo kyselosti kokosového oleje v den otevření balení, tj. na počátku skladování, bylo stanoveno na $0,93 \pm 0,004 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$. Jak je patrné z grafu na obrázku 10, po 102 dnech skladování bylo u vzorku K4 stanoveno na $0,91 \pm 0,02 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, na $0,92 \pm 0,01 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$ u vzorku K20. Rozdíl těchto hodnot není statisticky významný.



Obrázek 10: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – kokosový olej. Značení vzorků viz tabulka 6.

4.1.2 Vlašský olej

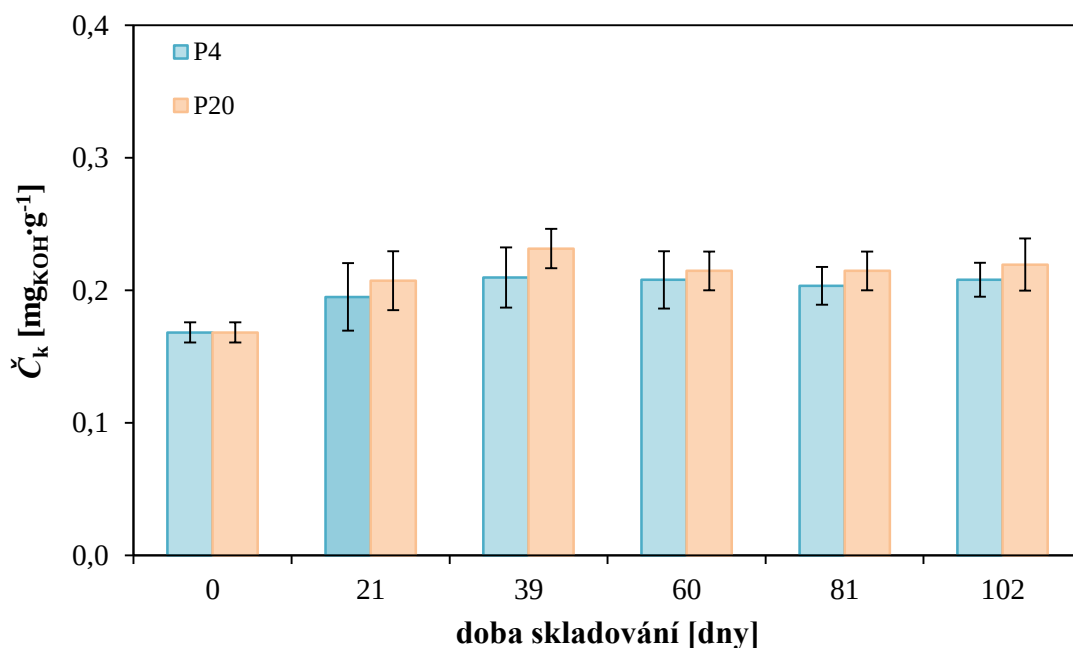
Počáteční hodnota čísla kyselosti vlašského oleje byla stanovena na $0,90 \pm 0,02 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. U vzorku V4 se zvýšila po 102 dnech skladování na $1,00 \pm 0,01 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$, u vzorku V20 na $0,99 \pm 0,03 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl těchto stanovených hodnot není statisticky významný. Závislost čísla kyselosti vzorku vlašského oleje na době skladování za různých teplot je zobrazena na obrázku 11.



Obrázek 11: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – vlašský olej. Značení vzorků viz tabulka 6.

4.1.3 Arašídový olej

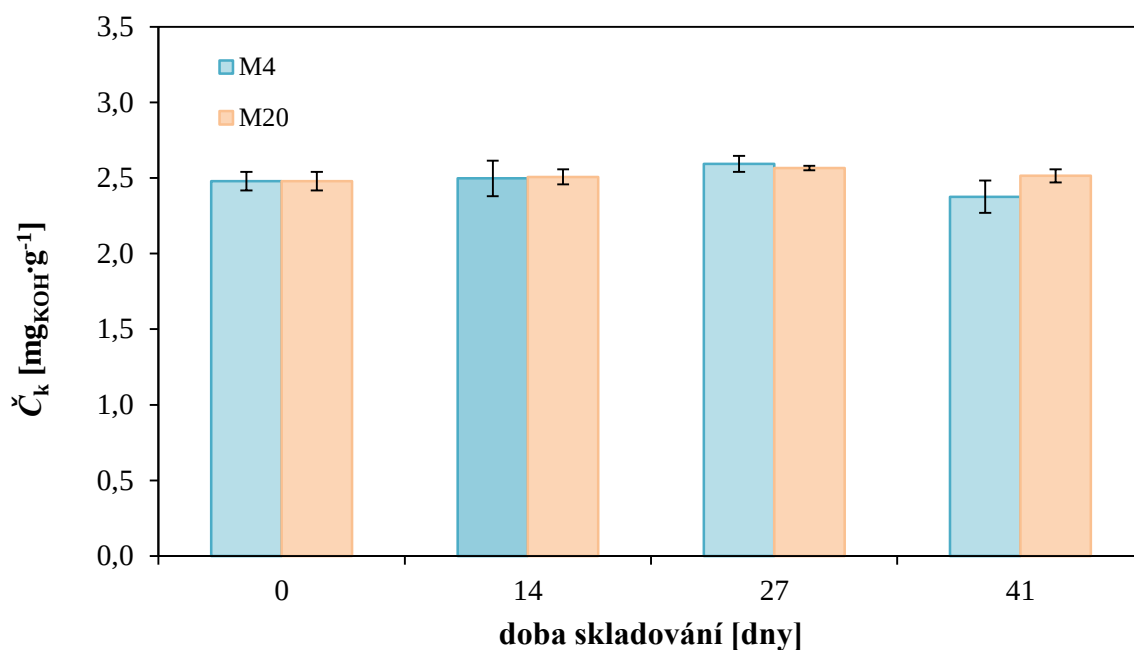
U vzorku arašídového oleje bylo stanoveno číslo kyselosti na počátku experimentu na $0,17 \pm 0,007 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. Po 102 dnech bylo u vzorku P4 $0,21 \pm 0,01 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$, $0,22 \pm 0,2 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$ u vzorku P20. Rozdíl mezi stanovenými hodnotami není, stejně jako u předchozích vzorků, statisticky významný. Vývoj čísla kyselosti arašídového oleje v průběhu experimentu zobrazuje obrázek 12.



Obrázek 12: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídový olej. Značení vzorků viz tabulka 6.

4.1.4 Arašídové máslo

Číslo kyselosti u arašídového másla bylo na počátku stanoveno na $2,48 \pm 0,05 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. Po 41 dnech skladování bylo u vzorku M4 stanoveno na $2,38 \pm 0,1 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$ a u vzorku M20 na $2,51 \pm 0,04 \text{ mg}_{\text{KOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl mezi hodnotami u vzorků skladovaných za různých podmínek opět není statisticky významný. Vývoj hodnot čísla kyselosti u arašídového másla v průběhu skladovacího experimentu je zobrazen na obrázku 13.



Obrázek 13: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídové máslo. Značení vzorků viz tabulka 6.

U všech čtyř analyzovaných vzorků je patrné, po zohlednění 95% intervalu spolehlivosti hodnot, že čísla kyselosti stanovené pro vzorky uchovávané v lednici při 4 °C mají nižší nebo stejnou hodnotu jako u vzorků skladovaných za laboratorních podmínek. Ani u jednoho vzorku nejsou však případné rozdíly statisticky významné a proto lze tvrdit, že teplota skladování výrazně neovlivňovala průběh hydrolytických procesů, které by měly za následek zvyšování obsahu volných mastných kyselin, resp. čísla kyselosti vzorků.

Obecně mají změny čísla kyselosti během skladování mírně kolísavý charakter, což lze přisoudit náhodným chybám při analytickém stanovení, které se promítly do hodnot směrodatných odchylek, resp. z nich vypočtených intervalů spolehlivosti, znázorněných jako chybové úsečky grafu.

Nejnižší průměrné číslo kyselosti, při porovnání jednotlivých druhů skořápkových plodů, bylo stanoveno u vzorků arašídového oleje, kde $\check{C}_k = 0,21 \pm 0,02 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$. Průměrná hodnota u kokosového oleje byla $0,92 \pm 0,04 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, u oleje vlašského $0,97 \pm 0,04 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$.

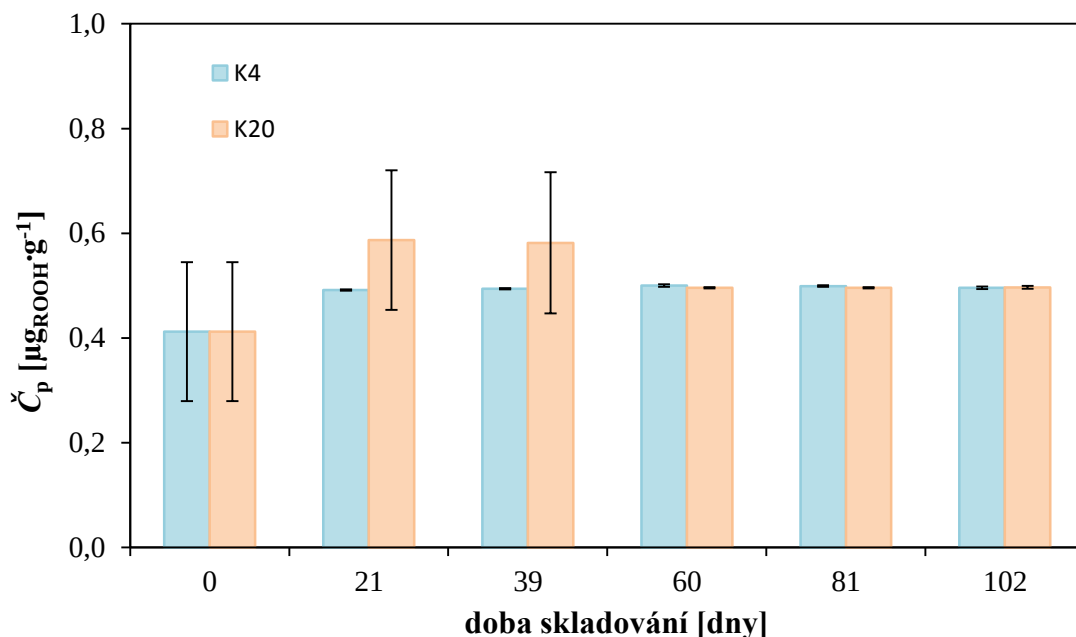
Porovnání čísel kyselosti u rozdílných druhů produktů vyrobených ze stejného druhu skořápkových plodů, tedy arašídového másla – $\check{C}_k = 2,50 \pm 0,02 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, a arašídového oleje – $\check{C}_k = 0,21 \pm 0,02 \text{ mg}_{\text{KOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, může poukazovat na vliv rozdílné technologie výroby, případně na vliv složení matrice na jejich hodnotu. Vyšší obsah vody, resp. vodní aktivita arašídového másla může být jedním z faktorů ovlivňujících průběh hydrolytické reakce, což dokazovali např. i Wang a kol. [49] či Seven a Özcan [54] ve svých experimentech.

4.2 Stanovení peroxidového čísla

Peroxidové číslo, které informuje o obsahu hydroperoxidů – primárních oxidačních produktů [51], bylo stanoveno za účelem sledování průběhu autooxidačních reakcí ve vzorcích.

4.2.1 Kokosový olej

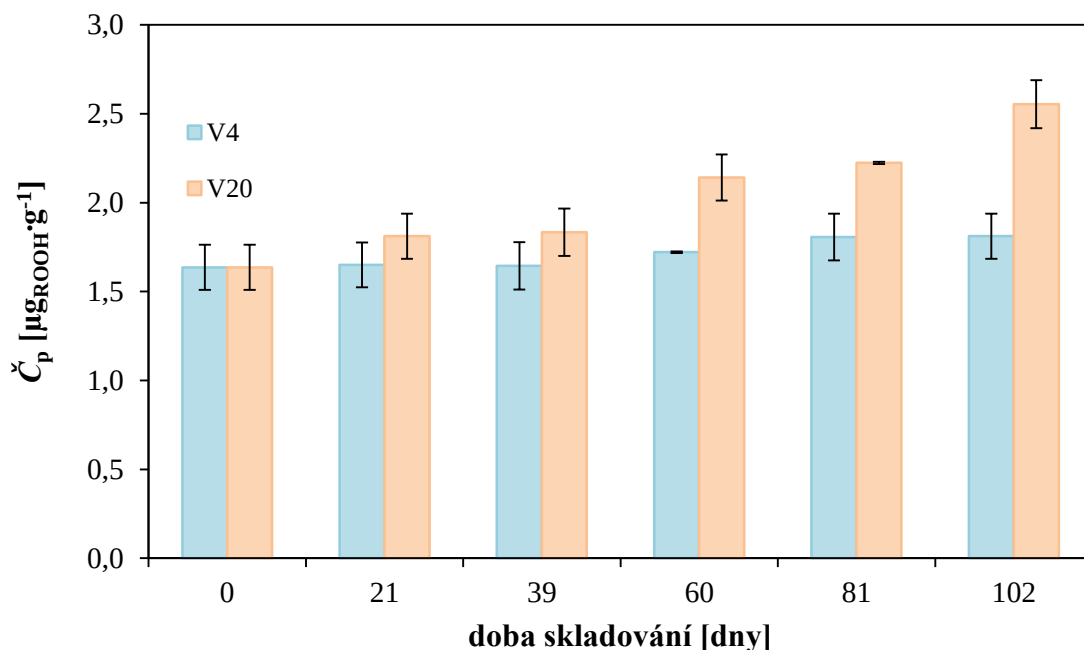
Hodnota peroxidového čísla byla na počátku experimentu $0,41 \pm 0,12 \text{ } \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$. Při posledním odběru bylo u obou vzorků, K4 i K20, stanoveno bez rozdílu na hodnotu $0,50 \pm 0,002 \text{ } \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$. Závislost hodnot peroxidového čísla vzorků kokosového oleje na době skladování za různých teplot je zobrazena v obrázku 14.



Obrázek 14: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – kokosový olej. Značení vzorků viz tabulka 6.

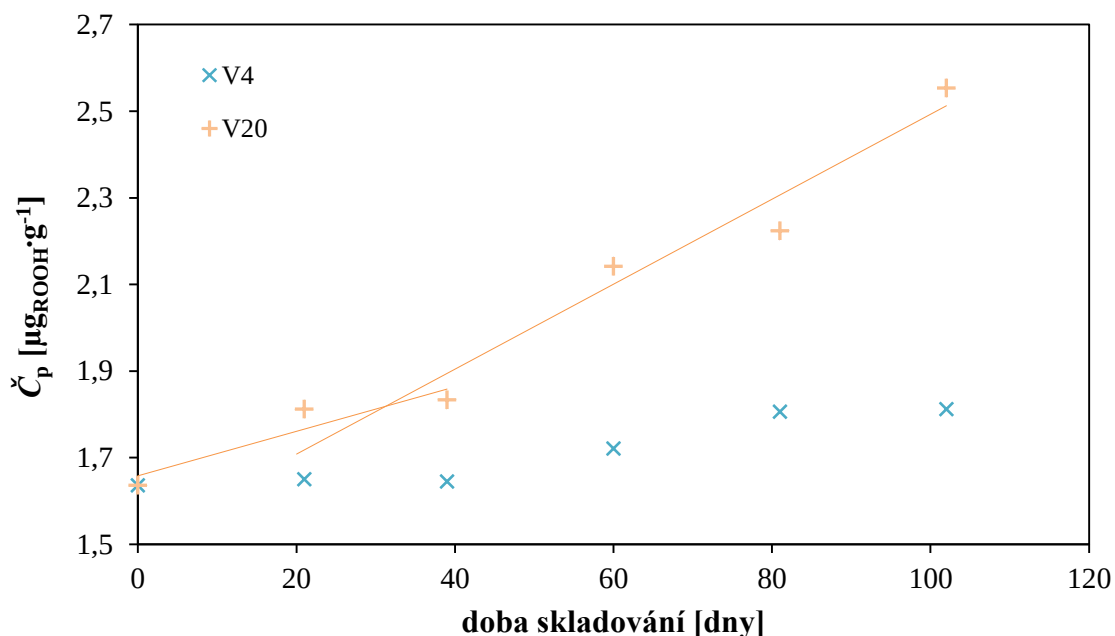
4.2.2 Vlašský olej

U vzorku vlašského oleje byla v čase 0 hodnota peroxidového čísla $1,64 \pm 0,11 \mu\text{g}_{\text{ROOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. Po 102 dnech skladování byla u vzorku V4 stanovena jeho hodnota na $1,81 \pm 0,11 \mu\text{g}_{\text{ROOH}}\cdot\text{g}^{-1}$, u vzorku V20 se jeho hodnota statisticky významně navýšila na $2,55 \pm 0,12 \mu\text{g}_{\text{ROOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. Významný nárůst byl zaznamenán od odběru po 60 dnech skladování. Závislost peroxidového čísla vlašského oleje na době skladování za různých podmínek je zobrazen na obrázku 14.



Obrázek 15: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – vlašský olej. Značení vzorků viz tabulka 6.

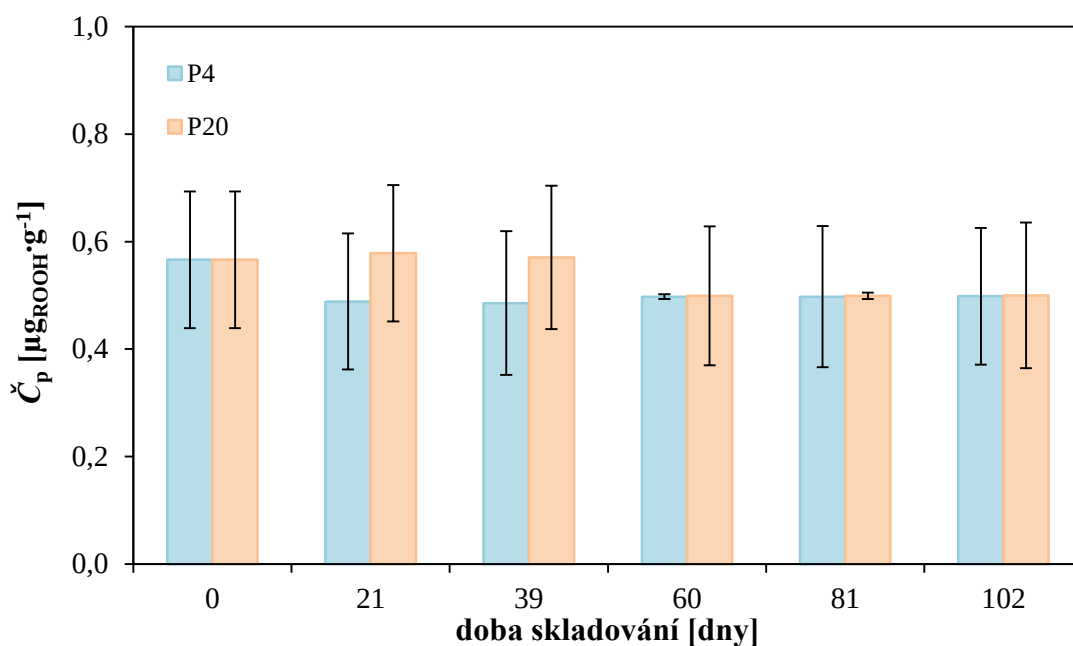
Z důvodu statistické významnosti rozdílu hodnot peroxidového čísla vzorků vlašského oleje skladovaného při různých teplotách byla pomocí průsečíku regresních přímek stanovena hodnota indukční periody vzorku V20 – viz obrázek 16. Indukční perioda, založená na základě sledování vývoje hodnot peroxidového čísla během skladování, byla stanovena na 31,3 dne.



Obrázek 16: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – indukční perioda – vlašský olej. Značení vzorků viz tabulka 6.

4.2.3 Arašídový olej

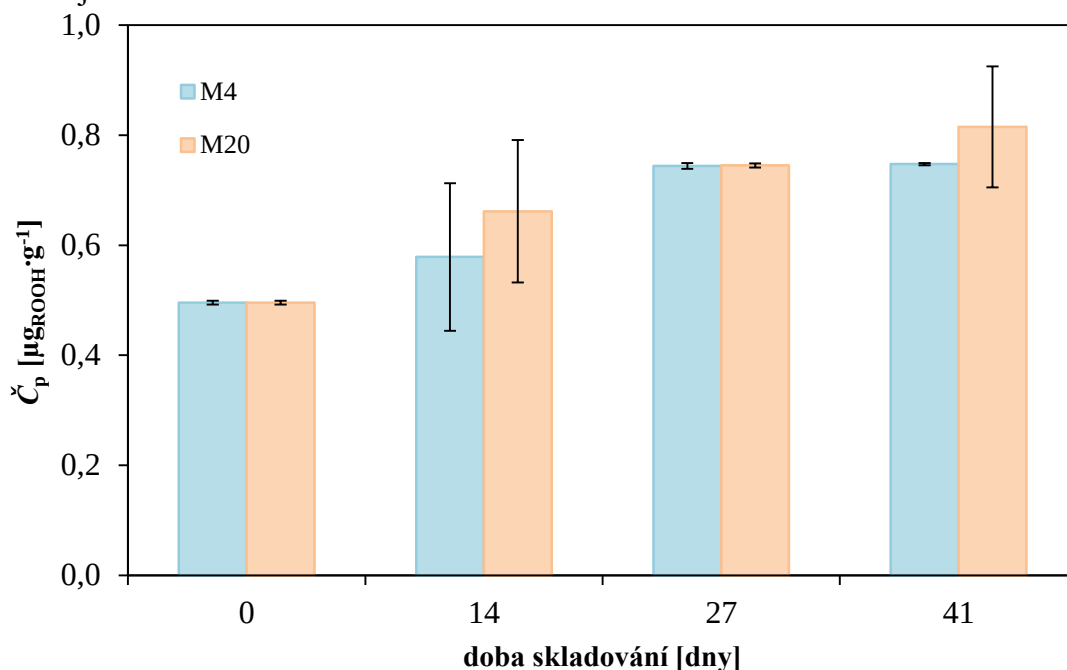
Peroxidové číslo na počátku bylo u arašídového oleje stanoveno na $0,57 \pm 0,11 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$. Po 102 dnech skladování byla jeho hodnota u vzorku A4 $0,50 \pm 0,001 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$ a $0,50 \pm 0,002 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$ u vzorku A20. Rozdíl obou hodnot nebyl vyhodnocen jako statisticky významný. Vývoj peroxidového čísla arašídového oleje během experimentu zobrazuje obrázek 17.



Obrázek 17: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídový olej. Značení vzorků viz tabulka 6.

4.2.4 Arašídové máslo

Počáteční hodnota peroxidového čísla arašídového másla byla $0,50 \pm 0,003 \mu\text{g}_{\text{ROOH}}\cdot\text{g}^{-1}$. Po 41 dnech skladování se zvýšila na $0,75 \pm 0,002 \mu\text{g}_{\text{ROOH}}\cdot\text{g}^{-1}$ u vzorku M4, resp. na $0,82 \pm 0,09 \mu\text{g}_{\text{ROOH}}\cdot\text{g}^{-1}$ u vzorku M20. Rozdíl mezi zjištěnými hodnotami není statisticky významný. Závislost peroxidového čísla arašídového másla na době skladování za různých podmínek je zobrazena na obrázku 18.



Obrázek 18: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídové máslo. Značení vzorků viz tabulka 6.

Hodnoty peroxidového čísla naměřené pro vzorky kokosového a arašídového oleje vykazují stabilní vývoj, s mírně kolísavým trendem v první polovině experimentu pro kokosový olej, naopak v polovině druhé pro olej arašídový. Při hodnocení vlivu teplot skladování na hodnoty peroxidového čísla nebyly u těchto vzorků zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi vzorky skladovanými při 4 °C a 20 °C. Průměrná hodnota peroxidového čísla byla pro kokosový olej $0,50 \pm 0,04 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, pro olej arašídový $0,52 \pm 0,02 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$.

U vzorků vlašského oleje však byl rozdíl mezi hodnotami naměřenými pro vzorky skladované za různých teplot, $V4 - \check{C}_p = 1,81 \pm 0,11 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, $V20 - \check{C}_p = 2,55 \pm 0,12 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, statisticky významný. I přesto, že v průběhu experimentu byl vývoj u obou vzorků rostoucího charakteru, je dobře patrné, že při skladování vzorku při 4 °C je průběh autooxidace, vyjádřené jako časová závislost peroxidového čísla, značně zpomalen. Na základě těchto dat lze potvrdit, že skladování vlašského oleje při snížené teplotě má na jeho kvalitu značný vliv. Ke stejným závěrům došli například Vaydia a Eun [55] nebo Christopoulos a Tsantili [56].

Významný nárůst hodnot, oproti vzorku V4, nastal u vzorku V20 už při odběru po 60 dnech skladování. Jak je zobrazeno na obráz

ku 16, v průběhu experimentu došlo ke zvýšení rychlosti autooxidační reakce a nástupu exponenciální fáze. Indukční perioda vlašského oleje skladovaného při 20 °C byla stanovena na 31,3 dne. Hodnota je však pouze orientační, pro přesné stanovení by bylo potřeba většího množství dat. Indukční periodu vlašského oleje skladovaného při 25 °C stanovili Vaydia a Eun na 23,0 dne [55].

Hodnoty peroxidových čísel naměřených u arašídového másla vykazují v závislosti na době skladování, na rozdíl od ostatních vzorků, rostoucí trend po celou dobu experimentu. Od počáteční hodnoty $0,50 \pm 0,003 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$ došlo ke statisticky významnému nárůstu na $0,75 \pm 0,002 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$ u vzorku skladovaného při 4 °C, resp. na $0,82 \pm 0,09 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$ u vzorku skladovaného při 20 °C. Při porovnání těchto hodnot s hodnotami naměřenými u arašídového oleje je, stejně jako u čísla kyselosti, patrný rozdíl mezi různými druhy výrobků ze stejné suroviny – olej vs. máslo. Důležitou roli při průběhu oxidačních reakcí opět hraje rozdílná hodnota vodní aktivity výrobků [57].

Nejvyšší počáteční hodnota peroxidového čísla, $1,64 \pm 0,11 \mu\text{g}_{\text{ROOH}} \cdot \text{g}^{-1}$, byla stanovena u vzorku vlašského oleje, což je pravděpodobně způsobeno použitím pražených jader jako suroviny pro jeho výrobu, jak ve své publikaci uvádí Vaidya a Eun [58].

Porovnáním průběhu autooxidace sledované stanovením peroxidového čísla – viz obrázky 14, 15, 17, je zřetelná souvislost se složením mastných kyselin jednotlivých vzorků. Vzorky vlašského oleje, v jejichž složení převládají polynenasycené mastné kyseliny s vysokým obsahem kyseliny linolenové – viz vyhodnocení výsledků v následující kapitole 4.3, vykazovaly jako jedině rostoucí trend těchto závislostí. Byly tedy ověřeny poznatky z kapitoly 2.7.2, že za běžných teplot dochází k oxidaci kyselin nenasycených, přednostně polynenasycených [10]. K závěru, že olej z vlašských ořechů je společně s olejem z piniových ořechů díky nejvyššímu obsahu polynenasycených mastných kyselin nejméně stabilní, došli ve své studii i Miraliakbari a Shahidi [59].

4.3 Stanovení mastných kyselin pomocí plynové chromatografie

Mastné kyseliny byly identifikovány a kvantifikovány pomocí standardů plynovou chromatografií s FID detekcí. Přesný postup a podmínky stanovení jsou uvedeny v kap. 3.3.4. Hlavní charakteristiky standardů jsou uvedeny v příloze 3.

Tabulky s průměrnými hodnotami získanými zpracováním výsledků z každého měření jsou uvedeny v následujících podkapitolách u jednotlivých vzorků. Ukázky chromatogramů pro každý vzorek jsou uvedeny v příloze 4–7.

4.3.1 Kokosový olej

Složení mastných kyselin ve vzorcích kokosového oleje, měřené v průběhu skladování, je uvedeno v tabulce 8. Data v této tabulce ukazují, že kokosový olej obsahuje převážně nasycené MK, jejichž průměrný obsah se pohyboval v rozmezí 91,8–96,3 %. V největším množství, 34,3–48,9 %, byla nalezena kyselina laurová. Dalšími identifikovanými nasycenými MK byly v sestupném pořadí kyselina kaprylová, myristová, kaprinová, palmitová, stearová a kapronová. Z nenasyčených kyselin, v celkovém obsahu 3,7–10,1 %, byly kvantifikovány kyseliny olejová a linolová. Výsledky stanovení se shodují s údaji uvedenými na etiketě použitého kokosového oleje, uvedenými v příloze 2 i s daty uvedenými v dostupné literatuře [60].

Tabulka 8: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných v kokosovém oleji [%]

Vzorek	Odběr	Mastné kyseliny									Suma	
		C6	C8	C10	C12	C14	C16	C18	C18:1 n-9	C18:2 n-6	nas.	nenas
K4	1	1,3	16,5	8,8	48,9	14,5	5,0	1,3	2,9	0,8	96,3	3,7
	2	1,2	13,5	7,6	45,9	15,4	6,3	2,0	6,7	1,5	91,8	8,2
	3	1,2	20,6	9,4	43,6	14,6	5,0	1,5	3,2	0,8	95,9	4,1
	4	1,5	18,0	9,1	46,1	12,6	5,4	1,1	5,0	1,3	93,7	6,3
	5	1,9	16,2	7,9	34,3	14,9	10,4	3,9	7,3	3,1	89,6	10,4
	průměr	1,4	17,0	8,5	43,7	14,4	6,4	2,0	5,0	1,5	93,5	6,5
K20	1	1,3	16,5	8,8	48,9	14,5	5,0	1,3	2,9	0,8	96,3	3,7
	2	1,3	16,9	8,9	48,5	14,2	5,0	1,4	3,1	0,8	96,2	3,8
	3	1,1	15,8	8,4	47,2	14,7	5,8	1,7	3,9	1,3	94,8	5,2
	4	1,2	16,2	8,8	47,1	14,2	5,3	2,0	4,3	0,9	94,8	5,2
	5	1,8	17,7	9,0	43,7	13,7	6,8	1,9	4,4	1,0	94,6	5,4
	průměr	1,3	16,6	8,8	47,1	14,3	5,6	1,7	3,7	1,0	95,4	4,7

* – nas – nasycené, nenass. – nenasyčené

Uvedené mastné kyseliny: C6 – kapronová, C8 – kaprylová, C10 – kaprinová, C12 – laurová, C14 – myristová, C16 – palmitová, C18 – stearová, C18:1 n-9 – olejová, C18:2 n-6 – linolová.

4.3.2 Vlašský olej

Obsah jednotlivých mastných kyselin stanovených ve vzorcích vlašského oleje zobrazuje tabulka 9. Největší podíl, 59,2–62,2 %, tvoří esenciální MK řady n-6, kyselina linolová. Dále byly stanoveny nenasyčené kyseliny olejová a linolenová. V celkovém součtu je obsah nenasyčených MK průměrně 88,7 %. Zbýlý podíl tvoří nasycené kyseliny palmitová a stearová. Naměřená data odpovídají údajům uvedeným na etiketě i hodnotám dostupným v literatuře [60] – viz přílohy 1 a 2.

Tabulka 9: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných ve vlašském oleji [%]

Vzorek	Odběr	Mastné kyseliny					Suma	
		C16:0	C18:0	C18:1 n-9	C18:2 n-6	C18:3 n-3	nasycené	nenasycené
V4	1	7,6	2,7	13,7	62,2	13,8	10,3	89,7
	2	7,8	2,7	17,4	59,2	12,9	10,5	89,5
	3	9,9	3,0	16,0	59,3	11,8	12,9	87,1
	4*	23,5	8,4	24,8	35,6	7,8	31,8	68,2
	5	9,0	2,7	14,2	62,2	11,9	11,7	88,3
	průměr	8,6	2,8	15,3	60,7	12,6	11,3	88,7
V20	1	7,6	2,7	13,7	62,2	13,8	10,3	89,7
	2	9,2	2,7	13,7	61,4	12,9	12,0	88,0
	3	7,9	2,9	14,0	62,4	12,8	10,8	89,2
	4	9,0	2,7	15,6	60,6	12,1	11,7	88,3
	5	8,7	3,1	15,7	59,5	12,9	11,9	88,1
	průměr	8,5	2,8	14,6	61,2	12,9	11,3	88,7

* hodnoty ze 4. odběru jsou odlehle, byly proto vynechány ze statistického zpracování

– nas – nasycené, nenas. – nenasyčené

Uvedené mastné kyseliny: C16:0 – palmitová, C18:0 – stearová, C18:1 n-9 – olejová, C18:2 n-6 – linolová, C18:3 n-3 – linolenová.

4.3.3 Arašídový olej

Složení mastných kyselin ve vzorcích arašídového oleje, uvedené v tabulce 10, ukazuje, že největší podíl, v množství 69,8–72,4 %, zaujímá kyselina olejová. Dalšími mononenasyčenými MK byly kyselina eikosanová a v minimálním množství, které nepřesahovalo 0,1 %, kyselina eruková. Zastoupeny byly také nenasyčené kyseliny s 2, resp. 3 dvojnými vazbami – kyseliny linolová a linolenová. Průměrné celkové množství nenasyčených MK bylo stanoveno na 85,5 %. Zbýlé množství tvoří MK nasycené, mezi kterými byly v sestupném pořadí stanoveny kyseliny palmitová, behenová, stearová, lignocerová a arachová. V tomto případě byl nalezen o 4 % vyšší obsah nasycených mastných kyselin, než je 11 % uvedených na etiketě. Stejně tak byly nalezeny značné rozdíly v obsahu kyselin olejové a linolenové, oproti údajům v dostupné literatuře – viz příloha 1.

Tabulka 10: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných v arašídovém oleji [%]

Vzorek	Odběr											Suma	
		C16	C18	C18:1 n-9	C18:2 n-6	C18:3 n-3	C20	C20:1 n-9	C22	C22:1 n-9	C24	nas.	nenas.
A4	1	7,4	2,0	69,7	13,4	0,6	0,4	2,2	3,4	0,0	0,8	14,1	85,9
	2	6,7	2,1	70,8	12,0	0,3	0,5	2,6	4,1	0,0	0,9	14,3	85,7
	3	7,2	2,2	70,5	11,8	0,3	0,5	2,5	3,9	0,2	0,9	14,7	85,3
	4	9,1	2,3	71,1	11,6	0,2	0,4	2,0	2,8	0,0	0,5	15,0	85,0
	5	7,5	2,3	70,6	12,1	0,4	0,3	2,5	3,8	0,0	0,5	14,4	85,6
	průměr	7,6	2,2	70,6	12,2	0,3	0,4	2,4	3,6	0,0	0,7	14,5	85,5
A20	1	7,4	2,0	69,7	13,4	0,6	0,4	2,2	3,4	0,0	0,8	14,1	85,9
	2	8,3	2,0	69,8	12,2	0,3	0,5	2,3	3,6	0,2	0,9	15,3	84,7
	3	7,1	2,1	70,8	11,9	0,3	0,5	2,4	3,8	0,2	0,9	14,3	85,7
	4	8,7	1,9	71,2	11,7	0,2	0,4	2,1	3,0	0,2	0,6	14,7	85,3
	5	10,8	3,4	72,4	11,7	0,3	0,4	1,3	2,0	0,0	0,0	16,6	85,7
	průměr	8,5	2,3	70,8	12,2	0,3	0,4	2,1	3,2	0,1	0,6	15,0	85,5

* – nas – nasycené, nenas. – nenasycené

Uvedené mastné kyseliny:

C16:0 – palmitová, C18:0 – stearová, C18:1 n-9 – olejová, C18:2 n-6 – linolová, C18:3 n-3 – linolenová, C20:0 – arachová, C20:1 – eikosanová, C22:0 – behenová, C22:1 – eruková, C 24:0 – lignocerová.

4.3.4 Arašídové máslo

Vzorky arašídového másla, resp. tuk z nich získaný extrakcí, obsahovaly průměrně 83,6 % nenasycených MK, s převážujícím zastoupením kyseliny olejové, jejíž obsah se pohyboval v rozmezí 73,7–77,1 %. Stanoveny byly také nenasycené esenciální kyseliny linolová a linolenová. Celkový obsah nasycených mastných kyselin – kyseliny palmitové, stearové, arachové a behenové se pohyboval v rozmezí 15,7–17,7 %. Složení mastných kyselin ve vzorcích arašídového másla, měřené v průběhu skladování, je uvedeno v tabulce 11.

Ve vzorku arašídového másla byly stanoveny stejné MK jako ve vzorku arašídového oleje, s výjimkou kyselin eikosanové, erukové, a lignocerové, které ve vzorcích másla nebyly identifikovány. Kvůli identifikaci menšího počtu MK se mírně liší procentuální zastoupení jednotlivých kyselin v porovnání s arašídovým olejem.

Tabulka 11: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných v arašídovém másle [%]

Vzorek	Odběr	Mastné kyseliny								Suma	
		C16	C18	C18:1 n-9	C18:2 n-6	C18:3 n-3	C20	C22		nasycené	nenasycené
M4	1	8,3	3,6	75,7	5,8	0,9	2,4	3,3		17,7	82,3
	2	7,2	2,0	77,1	6,1	1,0	2,7	3,9		15,9	84,1
	3	7,0	2,1	76,5	6,3	1,1	2,9	4,2		16,1	83,9
	4	8,8	2,0	73,7	9,5	0,8	3,3	1,9		16,0	84,0
	průměr	7,8	2,4	75,7	6,9	0,9	2,9	3,3		16,4	83,6

Pokračování tabulky 11

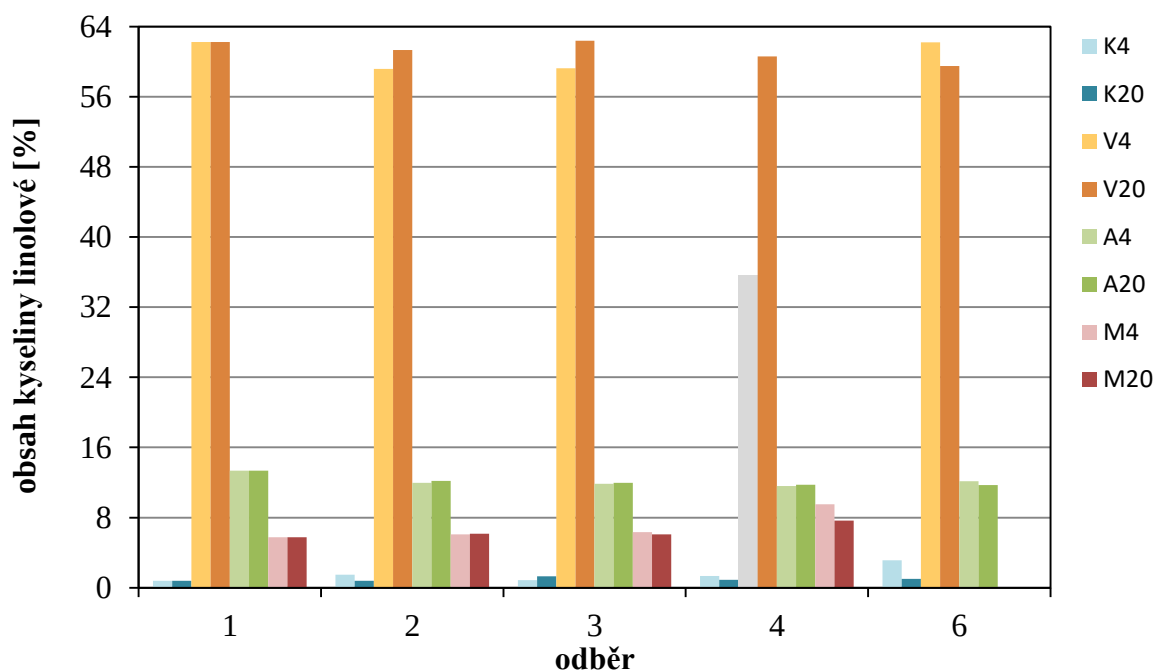
Vzorek	Odběr	Mastné kyseliny							Suma	
		C16	C18	C18:1 n-9	C18:2 n-6	C18:3 n-3	C20	C22	nasycené	nenasycené
M20	1	8,3	3,6	75,7	5,8	0,9	2,4	3,3	17,7	82,3
	2	8,2	2,3	76,3	6,2	0,9	2,6	3,5	16,6	83,4
	3	6,8	2,1	76,7	6,1	1,1	3,0	4,3	16,1	83,9
	4	7,8	2,1	75,7	7,7	1,0	2,5	3,3	15,7	84,3
	průměr	7,8	2,5	76,1	6,4	1,0	2,6	3,6	16,5	83,5

Uvedené mastné kyseliny:

C16:0 – palmitová, C18:0 – stearová, C18:1 n-9 – olejová, C18:2 n-6 – linolová, C18:3 n-3 – linolenová, C20:0 – arachová, C22:0 – behenová.

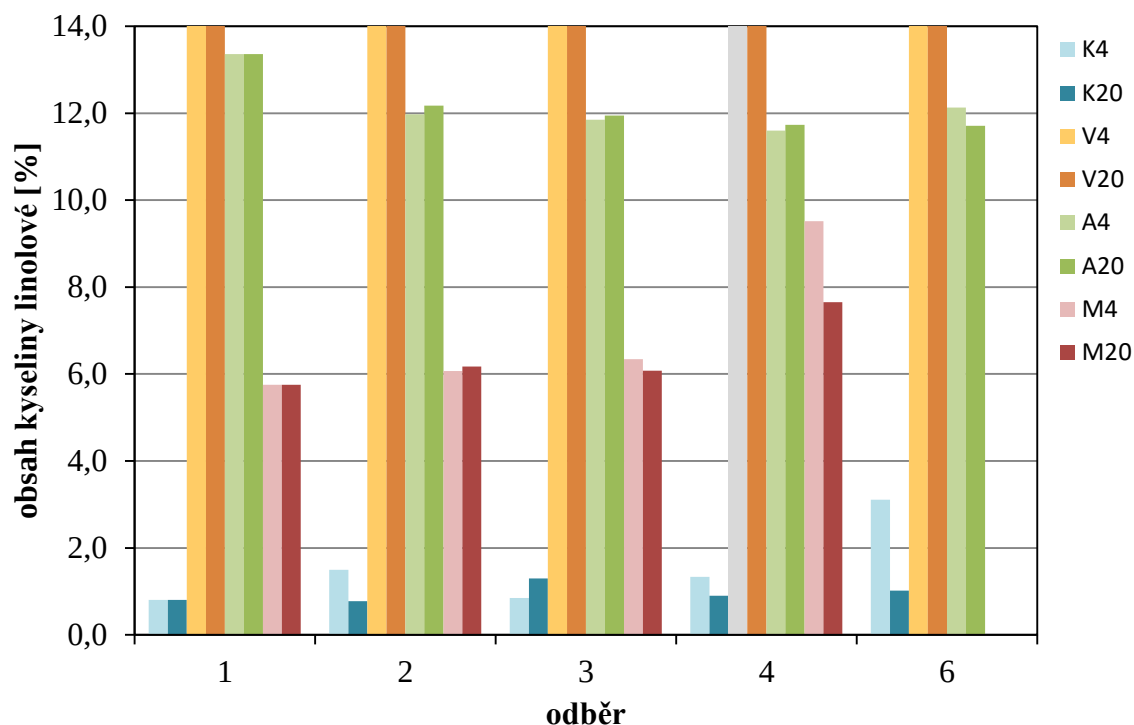
Výsledky získané při stanovení obsahu mastných kyselin ve vzorcích pomocí GC-FID jsou pro účel sledování změn probíhajících v lipidech málo přesné. Jak je patrné z tabulek 8–11, stanovená množství jednotlivých kyselin v průběhu experimentu jsou značně kolísavá, což znesnadňuje detailní posouzení probíhajících změn.

Vzhledem k tomu, že hlavní pozornost se v souvislosti s oxidačními změnami lipidů upírá na obsah esenciálních MK – kyseliny linolové a linolenové, je na obrázcích 19–22² uvedeno grafické znázornění jejich obsahu naměřeného v průběhu experimentu ve všech vzorcích.



Obrázek 19: Obsah kyseliny linolové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu. Značení vzorků viz tabulka 6.

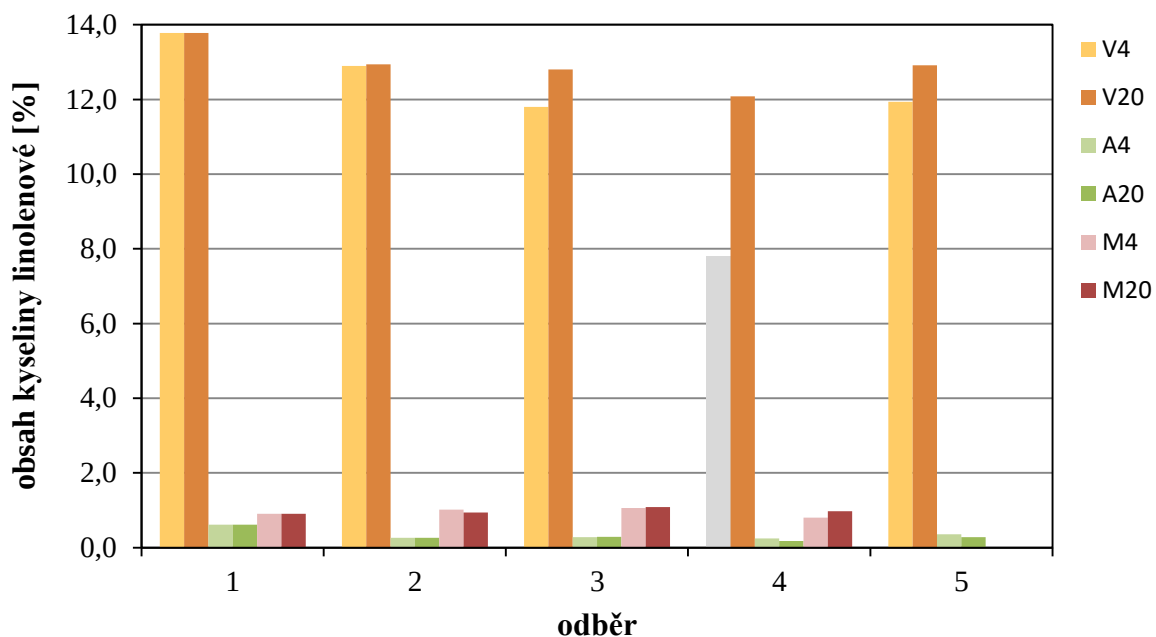
² Šedou barvou jsou na obrázcích 19–22 vyznačeny odlehlé hodnoty – 4. odběr vzorku V4, které nebyly statisticky zpracovány.



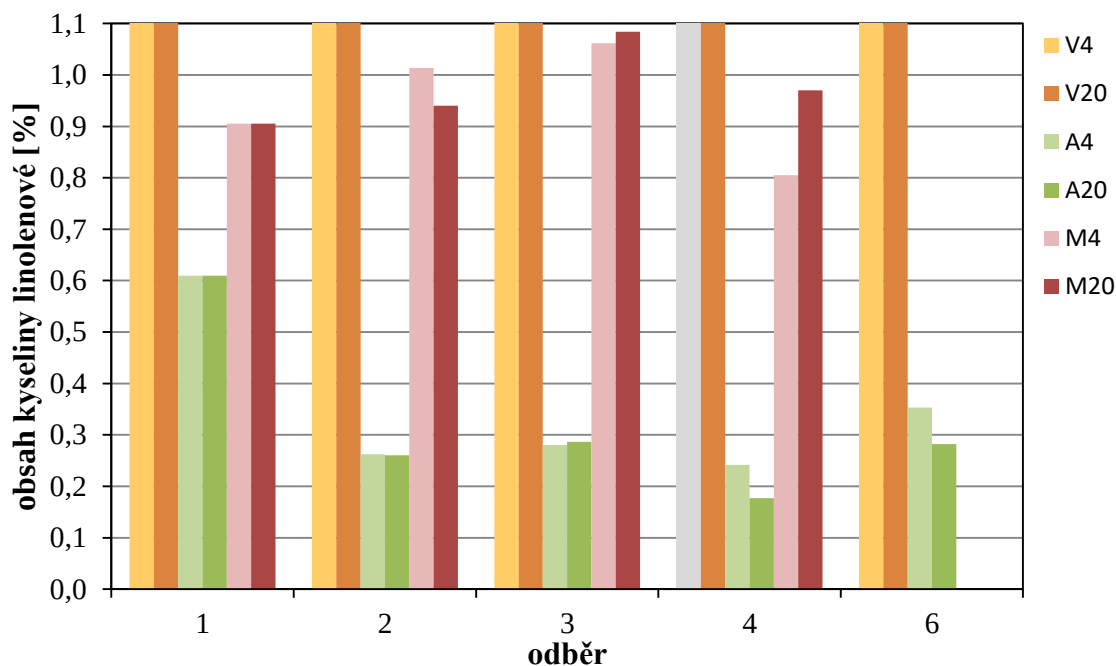
Obrázek 20: Obsah kyseliny linolové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu – rozsah stupnice do 14 %. Značení vzorků viz tabulka 6.

V obou vzorcích kokosového oleje i arašídového másla docházelo podle naměřených hodnot k navýšení obsahu kyseliny linolové během skladování, což lze vysvětlit pouze chybou stanovení, jelikož v izolovaném tuku nemůže docházet k jakýmkoliv procesům, které by vedly k navýšení jejího obsahu. Mírný pokles obsahu kyseliny linolové byl zaznamenán u obou vzorků arašídového oleje a vzorku vlašského oleje skladovaného při 20 °C. Pouze u vzorku vlašského oleje lze říci, že k úbytku mohlo dojít v důsledku oxidačních změn, protože výsledky korelují s nárůstem hodnot peroxidového čísla.

Podobné závěry lze vyvodit i při posouzení vývoje obsahu kyseliny linolenové, které jsou zobrazeny na obrázcích 21 a 22. Ke snížení jejího obsahu, které je – vzhledem k nestabilitě způsobené výskytem 3 dvojných vazeb ve struktuře molekuly – očekávané, došlo u obou vzorků vlašského a arašídového oleje. Vzorky arašídového másla měly obsah kyseliny linolenové téměř konstantní.



Obrázek 21: Obsah kyseliny linolenové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu. Značení vzorků viz tabulka 6.



Obrázek 22: Obsah kyseliny linolenové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu – rozsah stupnice do 1,1 %. Značení vzorků viz tabulka 6.

Stanovením obsahu MK ve vzorcích výrobků z různých druhů skořápkových plodů bylo potvrzeno, že v každém z analyzovaných olejů převažuje ve složení jiná skupina MK, čímž jsou ovlivněny všechny jejich vlastnosti včetně oxidační stability.

Ve složení kokosového oleje převažují nasycené MK s většinovým podílem kyseliny laurové – 34,3–48,9 % z celkových MK. Nasycené kyseliny jsou za běžných teplot, jak uvádí Velíšek [10], z pohledu autooxidace stabilní, což bylo ověřeno i v experimentální části, ve

které nebyl zaznamenán vznik produktů oxidace, hodnocených jako peroxidové číslo, u žádného ze vzorků. Nárůst nebyl zaznamenán ani při stanovení obsahu volných mastných kyselin, vyjádřených jako číslo kyselosti a proto lze tvrdit, že při skladování nedocházelo ani k hydrolytickému rozkladu vzorku.

Ve vzorcích vlašského oleje byly z více než 70 % zastoupeny kyseliny *polynenasycené*, především kyselina linolová. Jelikož tyto kyseliny podléhají autooxidaci již za běžných teplot [10], byl jejich vysoký obsah hlavní příčinou jeho nízké oxidační stability. Průběh oxidace vlašského oleje skladovaného při laboratorní teplotě byl charakterizován stanovením indukční periody – 31,3 dne. Tento průběh byl značně zpomalen skladováním za snížené teploty. Zpomalení reakcí, i přes vyšší počáteční hodnotu peroxidového čísla, lze také dosáhnout pražením surovin použitých pro výrobu oleje, jak uvádí Vaidya a Eun [58]. Při stanovení čísla kyselosti nebyla zaznamenána významná změna, proto nebyl stanoven vliv složení mastných kyselin ani vliv teploty skladování.

Jako převládající složka arašídového oleje byla s průměrným obsahem 69,8–72,4 % stanovena *mononenasycená* kyselina olejová. V průběhu experimentu vykazoval arašídový olej stabilní vlastnosti – nedošlo ke změně čísla kyselosti ani peroxidového čísla, nebyl tak stanoven vliv teploty na změny lipidů v průběhu skladování. Nijak významný vliv na kvalitu neměla snížená teplota ani při skladování arašídového másla. K nárůstu peroxidového čísla, pravděpodobně díky vyššímu obsahu vody, resp. vodní aktivity, docházelo u obou skladovaných vzorků.

Na základě všech naměřených výsledků lze říci, že v experimentální části byly sledovány a popsány vlastnosti 2 stabilních vzorků – kokosového a arašídového oleje, a 2 vzorků nestabilních – vlašského oleje a arašídového másla. Na zkrácenou dobu použitelnosti těchto vzorků po otevření – 3 měsíce při skladování v chladničce pro vlašský olej, 1 měsíc při skladování v chladu pro arašídové máslo, v obou případech upozorňovaly informace na etiketě výrobků.

5 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo sledovat a posoudit stabilitu vzorků olejů a másla vyrobených ze skořápkových plodů. Byly analyzovány vzorky kokosového, vlašského a arašídového oleje a arašídového másla, zakoupené v prodejnách se zaměřením na zdravou výživu.

Pomocí vybraných metod – stanovení čísla kyselosti, peroxidového čísla a stanovení složení mastných kyselin metodou GC-FID, zvolených na základě provedené literární rešerše, byly sledovány hydrolytické a autooxidační změny v průběhu skladovacího pokusu, který trval 102 dní v případě olejů a 41 dní v případě másla; každý produkt byl skladován při dvou teplotách (4 °C; 20 °C).

Měřením peroxidového čísla a stanovením obsahu mastných kyselin metodou GC-FID byla sledována oxidační stabilita v závislosti na době a teplotě skladování. Zvýšená rychlost tvorby primárních oxidačních produktů byla, v důsledku obsahu velkého množství nestabilních polynenasycených mastných kyselin, zaznamenána u vzorku vlašského oleje skladovaného při laboratorní teplotě, 20 °C. Při skladování v lednici při 4 °C byla tvorba produktů, resp. nárůst hodnot peroxidového čísla, značně zpomalena. K nárůstu hodnot peroxidového čísla, resp. obsahu hydroperoxidů došlo i u obou vzorků arašídového másla, což bylo pravděpodobně způsobeno přítomností vyššího obsahu vody, v porovnání s oleji, a tedy i vyšší vodní aktivitou potřebnou pro urychlení probíhajících chemických reakcí. U obou těchto vzorků byla nižší oxidační stabilita zohledněna údaji o urychlené spotřebě po otevření na etiketě výrobku, doplněná o doporučení skladování při snížené teplotě, která jsou v souladu s naměřenými výsledky. U vzorku kokosového a arašídového oleje nejsou pokyny pro zacházení po otevření upřesněny.

Pro sledování procesů hydrolytických byl sledován vývoj čísla kyselosti. U žádného vzorku nedošlo v průběhu experimentu k jeho významnému nárůstu. Vliv teploty skladování na hydrolytické procesy nebyl za podmínek experimentu prokázán.

Metodou GC-FID bylo stanoveno složení mastných kyselin jednotlivých druhů vzorků, které korelovalo s jejich oxidační stabilitou.

Obecně lze konstatovat, že oxidační stabilita je nepřímo úměrná obsahu polynenasycených mastných kyselin a obsahu vody, s čímž úzce souvisí omezené podmínky skladovatelnosti. Bylo také ověřeno, že na zpomalení průběhu procesu žluknutí těchto nestabilních produktů, má vliv snížená teplota skladování.

Pro budoucí výzkum v oblasti stability tuků je vhodné zvolit časově a metodicky méně náročné postupy, které by poskytly přesnější výsledky a umožnily tak detailněji vysvětlit probíhající procesy.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BABIČKA, Luboš. *Průvodce světem potravin: rady spotřebitelům, na co si dát pozor při nakupování a manipulaci s potravinami*. 3., aktualiz. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, Odbor bezpečnosti potravin, 2012. ISBN 978-80-7434-086-4.
- [2] *Vyhláška č. 157/2003 Sb., kterou se stanoví požadavky pro čerstvé ovoce a čerstvou zeleninu, zpracované ovoce a zpracovanou zeleninu, suché skořápkové plody, houby, brambory a výrobky z nich, jakož i další způsoby jejich označování*, Praha: Ministerstvo zemědělství, 2003.
- [3] HLADÍK, František. *Meruňky, broskve, mandle, ořechy vlašské a lískové*. Praha: SZN, 1966. Malá zahradnická knižnice.
- [4] REIHSEROVÁ, Renata. Ořechy pro chuť i zdraví. In: *Svět potravin* [online]. Praha: Granville, ©2009-2014 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.svet-potravin.cz/clanek.aspx?id=4899>
- [5] Suché skořápkové plody. Státní zemědělská a potravinářská inspekce [online]. Brno: SZPI, ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.szpi.gov.cz/suche-skorapkové-plody.aspx>
- [6] VALÍČEK, Pavel. *Užitkové rostliny tropů a subtropů*. Vyd. 2., upr. a dopl. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0939-6.
- [7] NOWAK, Bernd a Bettina SCHULZ. *Tropické plody: biologie, využití, pěstování a sklizeň*. Vyd. 2. V Praze: Knižní klub, 2006. Průvodce přírodou (Euromedia Group - Knižní klub). ISBN 80-242-1653-1.
- [8] POSPÍŠIL, František a Blažena HRACHOVÁ. *Užitkové rostliny jižních zemí*. Praha: Academia, 1989.
- [9] BRUFAU, G., J. BOATELLA a M. RAFECAS. *Nuts: source of energy and macronutrients*. DOI: 10.1017/BJN20061860. ISBN 10.1017/BJN20061860.
- [10] VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ. *Chemie potravin*. Rozš. a přeprac. 3. vyd. Tábor: OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-15-2.
- [11] Centrum pro databázi složení potravin: *Databáze složení potravin ČR* [online]. Praha: Ústav zemědělské ekonomiky a informací, 2016 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.nutridatabase.cz/>
- [12] HOPFENZITZ, Petra. *Minerální látky: udržují tělo fit*. Praha: Ikar, 1999. Kompas (Ikar). ISBN 80-720-2546-5.
- [13] LÓPEZ-URIARTE, P., M. BULLÓ, P. CASAS-AGUSTENCH, N. BABIO a J.SALAS-SALVADÓ. Nuts and oxidation: a systematic review. *Nutrition Reviews* [online]. 2009, **67**(9), 497-508 [cit. 2017-04-10]. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2009.00223.x. ISSN 00296643. Dostupné z: <https://academic.oup.com/nutritionreviews/article-lookup/doi/10.1111/j.1753-4887.2009.00223.x>

- [14] ROBBINS, K. S., E. SHIN, R. L. SHEWFELT, R. R. EITENMILLER a R. B. PEGG. Update on the Healthful Lipid Constituents of Commercially Important Tree Nuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2011, **59**(22), 12083-12092. [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1021/jf203187v. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <http://pubs.acs.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/doi/full/10.1021/jf203187v>
- [15] BLOMHOFF, R., M. H. CARLSEN, L. F. ANDERSEN a D. R. JACOBS. Health benefits of nuts: potential role of antioxidants. *British Journal of Nutrition*. 2006, **96**(S2), S52-. DOI: 10.1017/BJN20061864. ISSN 0007-1145.
- [16] *Společnost pro výživu* [online]. Praha: Společnost pro výživu, c2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.vyzivaspol.cz/>
- [17] RAJARAM, S. a J. SABATÉ. Nuts, body weight and insulin resistance. *British Journal of Nutrition*. 2006, **96**(S2), S79-. DOI: 10.1017/BJN20061867. ISSN 0007-1145.
- [18] GRIEL, A. E. a P. M. KRIS-ETHERTON. Tree nuts and the lipid profile: a review of clinical studies. *British Journal of Nutrition*. 2006, **96**(S2), S68-. DOI: 10.1017/BJN20061866. ISSN 0007-1145.
- [19] GAYNOR, Mitchell L. *Plán genové terapie*. V Brně: Jota, 2016. ISBN 978-80-7462-980-8.
- [20] BATT, C. A. a M. Lou TORTORELLO, ed. *Encyclopedia of food microbiology*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-384730-0.
- [21] Aflatoxins. In: *IARCH Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human: A review of human carcinogens* [online]. 100F. France: International Agency for Research on Cancer, 2012, s. 225-248 [cit. 2017-04-10]. ISBN 978 92 832 1323 9. ISSN 1017-1606. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/PDFs/index.php>
- [22] TOURNAS, V., N NIAZI a J. KOHN. Fungal Presence in Selected Tree Nuts and Dried Fruits. *Microbiology Insights* [online]. 2015, č. 8, s. 1-6 [cit. 2017-04-10]. DOI: 10.4137/MBI.S24308. ISSN 1178-6361. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4444134/>
- [23] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům*, Evropský parlament a Rada Evropské unie, 2011.
- [24] FUCHS, Martin. *Potravinová alergie a intolerance*. Praha: Mladá fronta, 2016. Edice postgraduální medicíny. ISBN 978-80-204-3757-0.
- [25] JEONG, K., S.-Y. LEE, K. AHN, et al. A multicenter study on anaphylaxis caused by peanut, tree nuts, and seeds in children and adolescents. *Allergy* [online]. 2017, **72**(3), 507-510 [cit. 2017-04-12]. DOI: 10.1111/all.13096. ISSN 01054538. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/doi/10.1111/all.13096/full>
- [26] ELIZUR, Arnon. Co-allergy between tree nuts among tree nut allergic patients. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* [online]. 2017, **139**(2), AB129- [cit. 2017-04-12]. DOI: 10.1016/j.jaci.2016.12.422. ISSN 00916749. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0091674916319406>

- [27] KANNER, Joseph. Dietary advanced lipid oxidation endproducts are risk factors to human health. *Molecular Nutrition* [online]. 2007, **51**(9), 1094-1101 [cit. 2017-04-10]. DOI: 10.1002/mnfr.200600303. ISSN 16134125. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/mnfr.200600303>
- [28] KADLEC, Pavel. *Technologie potravin*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002. ISBN 80-708-0510-2.
- [29] DRDÁK, Milan. *Základy potravinárskych technológií spracovania rastlinných a živočíšnych surovín, cereálne a fermentačné technológie uchovávanie, hygiena a ekológia potravín*. Bratislava: Malé Centrum, 1996. ISBN 80-967-0641-1.
- [30] ČOPÍKOVÁ, Jana. *Technologie čokolády a cukrovinek*. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-708-0365-7.
- [31] DRDÁK, Milan. *Základy potravinárskych technológií: spracovanie rastlinných a živočíšnych surovín, cereálne a fermentačné technológie, uchovávanie, hygiena a ekológia potravín*. Bratislava: Malé Centrum, 1996. ISBN 80-967-0641-1.
- [32] *Vyhláška č. 397/2016 Sb., o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje*, Praha: Ministerstvo zemědělství, 2016.
- [33] IBURG, Anne. *Lexikon octů a olejů: původ, chuť, použití, recepty*. Dobřejovice: Rebo Productions, 2004. ISBN 80-723-4382-3.
- [34] DAVÍDEK, Jiří. *Chemie potravin: určeno pro posl. fak. potravinářské a biochemické technologie*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1991. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-708-0097-6.
- [35] ČSN EN ISO 660 Živočišné a rostlinné tuky a oleje - Stanovení čísla kyselosti a kyselosti. 2015
- [36] ČSN EN ISO 3960 Živočišné a rostlinné tuky a oleje - Stanovení peroxidového čísla - Jodometrické (vizuální) stanovení koncového bodu. 2015.
- [37] CIEMNIEWSKA-ŻYTKIEWICZ, H., K. RATUSZ, J., BRYŚ, M. REDER a P. KOCZON. Determination of the oxidative stability of hazelnut oils by PDSC and Rancimat methods. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2014, **118**(2), 875-881. [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1007/s10973-014-3861-9. ISSN 1388-6150. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10973-014-3861-9>
- [38] MOHD ROZALLI, N. H., N. L. CHIN, Y. A. YUSOF a N. MAHYUDIN. Quality changes of stabilizer-free natural peanut butter during storage. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 2016, **53**(1), 694-702 [cit. 2017-04-13]. DOI: 10.1007/s13197-015-2006-x. ISSN 0022-1155. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13197-015-2006-x>
- [39] ERKAN, N., G. AYRANCI a E. AYRANCI. A kinetic study of oxidation development in sunflower oil under microwave heating: Effect of natural antioxidants. *Food Research International* [online]. 2009, **42**(8), 1171-1177 [cit. 2017-04-13]. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.06.003. ISSN 09639969. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996909001768>

- [40] KRINGS, U., K. RATUSZ, J. BRYŚ, M. REDER a P. KOCZON. Antioxidant activity of extracts from roasted wheat germ. *Food Chemistry* [online]. 2000, **71**(1), 91-95 [cit. 2017-04-13]. DOI: 10.1016/S0308-8146(00)00148-5. ISSN 03088146. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814600001485>
- [41] VERLEYEN, T., R. VERHE, A. CANO, A. HUYGHEBAERT a W. DE GREYT. Influence of triacylglycerol characteristics on the determination of free fatty acids in vegetable oils by Fourier transform infrared spectroscopy. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society* [online]. 0110n. l., **78**(10), 981-984 [cit. 2017-04-13]. DOI: 10.1007/s11746-001-0375-z. ISSN 0003-021X. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11746-001-0375-z>
- [42] CHE MAN, Y.B., W.W. AYE, C.P. TAN a S.M. ABDULKARIM. Determination of free fatty acids in crude palm oil, bleached palm oil and bleached deacidified palm oil by Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Lipids* [online]. 2009, **16**(4), 475-483. [cit. 2017-04-13]. DOI: 10.1111/j.1745-4522.2009.01160.x. ISSN 10657258. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-4522.2009.01160.x>
- [43] DA COSTA FILHO, Paulo Augusto. Developing a rapid and sensitive method for determination of trans-fatty acids in edible oils using middle-infrared spectroscopy. *Food Chemistry* [online]. 2014, č. 158, s. 1-7 [cit. 2017-04-13]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.02.084. ISSN 03088146. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814614002696>
- [44] LIANG, P., Ch. CHEN, S. ZHAO, et al. Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy for the Oxidation and Peroxide Value Evaluation in Virgin Walnut Oil. *Journal of Spectroscopy* [online]. 2013, s. 1-5 [cit. 2017-04-12]. DOI: 10.1155/2013/138728. ISSN 2314-4920. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/jspec/2013/138728/>
- [45] SKIERA, Ch., P. STELIOPOULOS, T. KUBALLA, U. HOLZGRABE a B. DIEHL. ¹H NMR approach as an alternative to the classical p-anisidine value method. *European Food Research and Technology* [online]. 2012, **235**(6), 1101-1105 [cit. 2017-04-12]. DOI: 10.1007/s00217-012-1841-5. ISSN 1438-2377. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00217-012-1841-5>
- [46] ČSN EN ISO 16966-2 Živočišné a rostlinné tuky a oleje - Plynová chromatografie methylesterů mastných kyselin - Část 2: Příprava methylesterů mastných kyselin. 2015.
- [47] KUMAR, S. Naresh. Variability in Coconut (*Cocos nucifera* L.) Germplasm and Hybrids for Fatty Acid Profile of Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2011, **59**(24), 13050-13058. [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1021/jf203182d. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf203182d>
- [48] LI, R. T., R. YANG, J. K. G. KRAMER a M. HERNANDEZ. Fatty Acid Profiles, Tocopherol Contents, and Antioxidant Activities of Heartnut (*Juglans ailanthifolia* Var. *cordiformis*) and Persian Walnut (*Juglans regia* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2007, **55**(4), 1164-1169. [cit. 2017-04-15]. DOI: 10.1021/jf062322d. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf062322d>

- [49] WANG, M. L., P. RAYMER, M. CHINNAN a R. N. PITTMAN. Screening of the USDA peanut germplasm for oil content and fatty acid composition. *Biomass and Bioenergy* [online]. 2012, č. 39, s. 336-343. [cit. 2017-04-02]. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.01.025. ISSN 09619534. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953412000323>
- [50] ČSN EN ISO 6886 Živočišné a rostlinné tuky a oleje - Stanovení oxidační stability (zrychlený oxidační test). 2016.
- [51] JANÍČEK, G., B. HAMPL a K. ŠANDERA. Rukověť potravinářské analytiky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [52] ULLRICH, Ladislav. *Chémia a technológia jedlých tukov a olejov*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1963. Edícia potravinárskej literatúry (Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry).
- [53] SOMMER, Lumír. *Základy analytické chemie II*. V Brně: Vutium, 2000, 347 s.: il.; 29 cm. ISBN 80-214-1742-0.
- [54] SEVEN, S. a M.ÖZCAN. Physical and chemical analysis and fatty acid composition of peanut, peanut oil and peanut butter from ÇOM and NC-7 cultivars. *Grasas y Aceites* [online]. 2003, **53**(1), 12-18 [cit. 2017-04-02]. ISSN 0017-3495.
- [55] VAIDYA, B. a J. B. EUN. Effect of temperature on oxidation kinetics of walnut and grape seed oil. *Food Science and Biotechnology* [online]. 2013, **22**(S1), 273–279 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1007/s10068-013-0077-x. ISSN 1226-7708. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10068-013-0077-x>
- [56] CHRISTOPOULOS, M. V. a E. TSANTILI. Oil composition in stored walnut cultivars-quality and nutritional value. *European Journal of Lipid Science and Technology* [online]. 2015, **117**(3), 338-348 [cit. 2017-04-18]. DOI: 10.1002/ejlt.201400082. ISSN 14387697. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ejlt.201400082>
- [57] KOEHLER, P. E. a S. L. FELLAND. Sensory, chemical, and physical changes in increased water activity peanut butter products. *Journal of food quality* [online]. 1997, **20**(2), 145-156 [cit. 2017-04-18]. ISSN 0146-9428.
- [58] VAIDYA, B. a J. B. EUN. Effect of roasting on oxidative and tocopherol stability of walnut oil during storage in the dark. *European Journal of Lipid Science and Technology* [online]. 2013, **115**(3), 348-355 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1002/ejlt.201200288. ISSN 14387697. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ejlt.201200288>
- [59] MIRALIAKBARI, H. a F. SHAHIDI. Oxidative Stability of Tree Nut Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2008, **56**(12), 4751-4759 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1021/jf8000982. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf8000982>
- [60] TALBOT, Geoff. *Specialty Oils and Fats in Food and Nutrition: Properties, Processing and Applications* [online]. Elsevier Science, 2015. [cit. 2017-04-25]. ISBN 9781782423768.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

MK	Mastná kyselina
DDD	Doporučená denní dávka
WHO	World Health Organisation (Světová zdravotnická organizace)
BMI	Body Mass Index (Index tělesné hmotnosti)
ČR	Česká republika
GC	Plynová chromatografie
FID	Plamenově ionizační detektor
MEMK	Methylestery mastných kyselin

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Dozrávající vlašský ořech s praskající slupkou [8]</i>	- 9 -
<i>Obrázek 2: Nezralé lískové ořechy v punčošce [8]</i>	- 10 -
<i>Obrázek 3: Plody kešu rostoucí na zbytnělých plodových stopkách [8]</i>	- 11 -
<i>Obrázek 4: Rostlina podzemnice se zralými lusky po sklizni [8]</i>	- 12 -
<i>Obrázek 5: Rozříznutý plod juvie ztepilé s para ořechy [8]</i>	- 13 -
<i>Obrázek 6: Nezralé plody kokosové palmy [8]</i>	- 13 -
<i>Obrázek 7: Makadamové ořechy a vyloupaná jádra [8]</i>	- 15 -
<i>Obrázek 8: Dozrávající pekanový ořech a vyloupaná jádra [8]</i>	- 15 -
<i>Obrázek 9: Dozrávající plody pistácie [8]</i>	- 16 -
<i>Obrázek 10: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – kokosový olej.</i>	- 34 -
<i>Obrázek 11: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – vlašský olej.</i>	- 35 -
<i>Obrázek 12: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídový olej.</i>	- 36 -
<i>Obrázek 13: Změny čísla kyselosti v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídové máslo.</i>	- 36 -
<i>Obrázek 14: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – kokosový olej.</i>	- 38 -
<i>Obrázek 15: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – vlašský olej.</i>	- 38 -
<i>Obrázek 16: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – indukční perioda – vlašský olej.</i>	- 39 -
<i>Obrázek 17: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídový olej.</i>	- 40 -
<i>Obrázek 18: Změny peroxidového čísla v závislosti na době skladování při rozdílných teplotách – arašídové máslo.</i>	- 40 -
<i>Obrázek 19: Obsah kyseliny linolové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu.</i>	- 45 -
<i>Obrázek 20: Obsah kyseliny linolové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu – rozsah stupnice do 14 %.</i>	- 46 -
<i>Obrázek 21: Obsah kyseliny linolenové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu.</i> ...	- 47 -
<i>Obrázek 22: Obsah kyseliny linolenové ve vzorcích naměřený v průběhu experimentu – rozsah stupnice do 1,1 %.</i>	- 47 -

9 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Seznam suchých skořápkových plodů [2]</i>	<i>- 8 -</i>
<i>Tabulka 2: Dělení skořápkových plodů [2]</i>	<i>- 8 -</i>
<i>Tabulka 3: Základní nutriční hodnoty ve 100 g sušených skořápkových plodů [9]*</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Tabulka 4: Obsah vybraných minerálních látek ve 100 g skořápkových plodů [10]</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Tabulka 5: Možnosti kulinářského využití některých druhů olejů ze skořápkových plodů [18]</i>	<i>- 24 -</i>
<i>Tabulka 6: Přehled analyzovaných vzorků</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Tabulka 7: Rozpis odběrů vzorků</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Tabulka 8: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných v kokosovém oleji [%]</i>	<i>- 42 -</i>
<i>Tabulka 9: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných ve vlašském oleji [%]</i>	<i>- 43 -</i>
<i>Tabulka 10: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných v arašídovém oleji [%]</i>	<i>- 44 -</i>
<i>Tabulka 11: Procentuální obsah mastných kyselin identifikovaných v arašídovém másle [%]</i>	<i>- 44 -</i>

10 PŘÍLOHY

Příloha 1: Procentuální obsah mastných kyselin vybraných olejů

Mastná kyselina	Kokosový olej [60]	Vlašský olej [60]	Arašídový olej¹ [49]
kapronová	0,5–0,7	-	-
kaprylová	7,2–8,8	-	-
kaprinová	5,7–6,7	-	-
laurová	46,9–48	-	-
myristová	16,2–18,9	-	-
palmitová	7,4–9,6	5,9	11,0
stearová	2,8–3,6	3,2	3,3
olejová	5,7–6,7	15,7	43,2
linolová	0,9–1,6	57,3	35,0
linolenová	0,1	15,8	0,1
arachová	0,3	0,1	1,6
eikosanová	-	-	1,1
behenová	-	-	3,2
eruková	-	-	0,1
lignocerová	-	-	1,4

¹ – průměrná hodnota

Příloha 2: Průměrné nutriční hodnoty uvedené na obalech analyzovaných vzorků

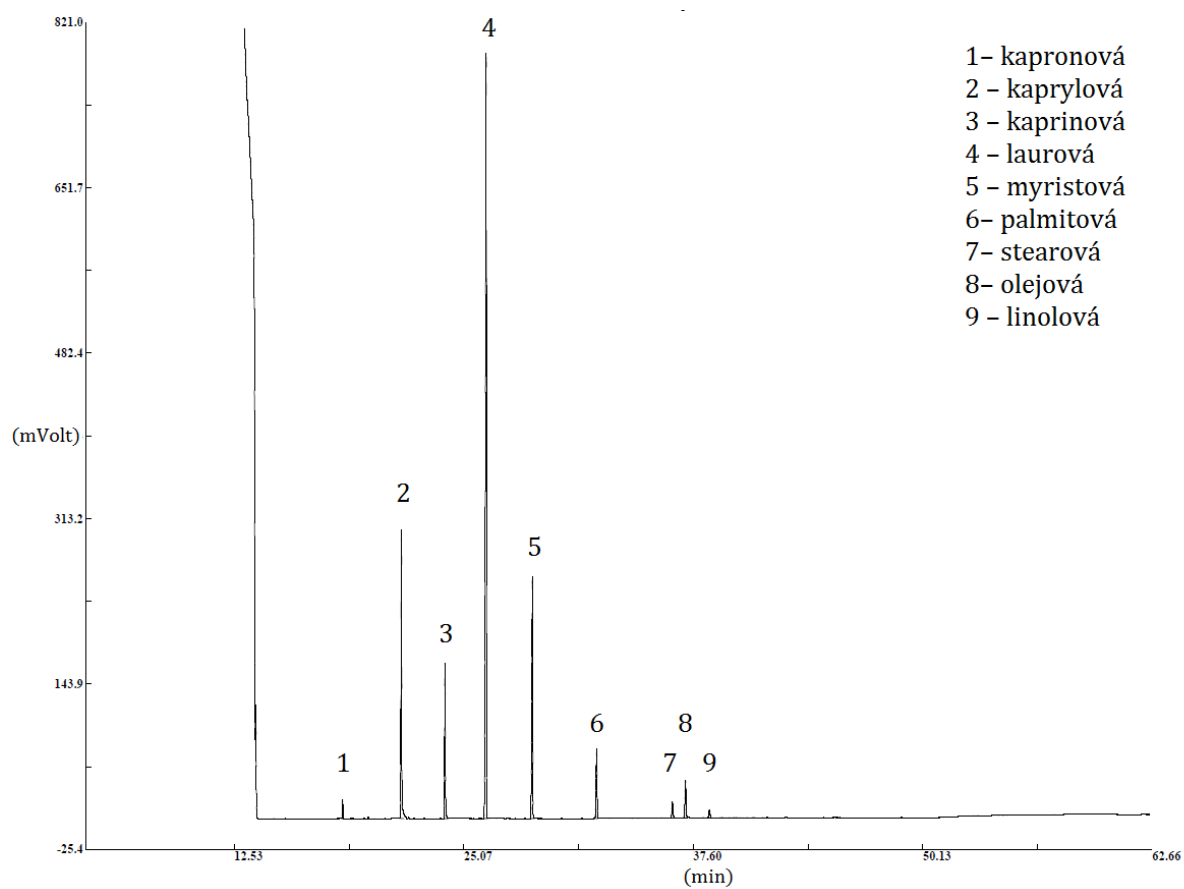
	Kokosový olej	Vlašský olej	Arašídový olej	Arašídové máslo
Energie [kJ]	3682	3404	3404	2450
Tuky [g]	99,5	92	92,0	50
z toho nasycené MK [g]	94,2	10	11,0	7
monoenové MK [g]	N	N	N	N
polyenové MK [g]	N	67	N	N
Sacharidy [g]	0,6	0	0	22
Bílkoviny [g]	0,2	0	0	24
Vláknina [g]	0	0	0	8

N – neuvedeno

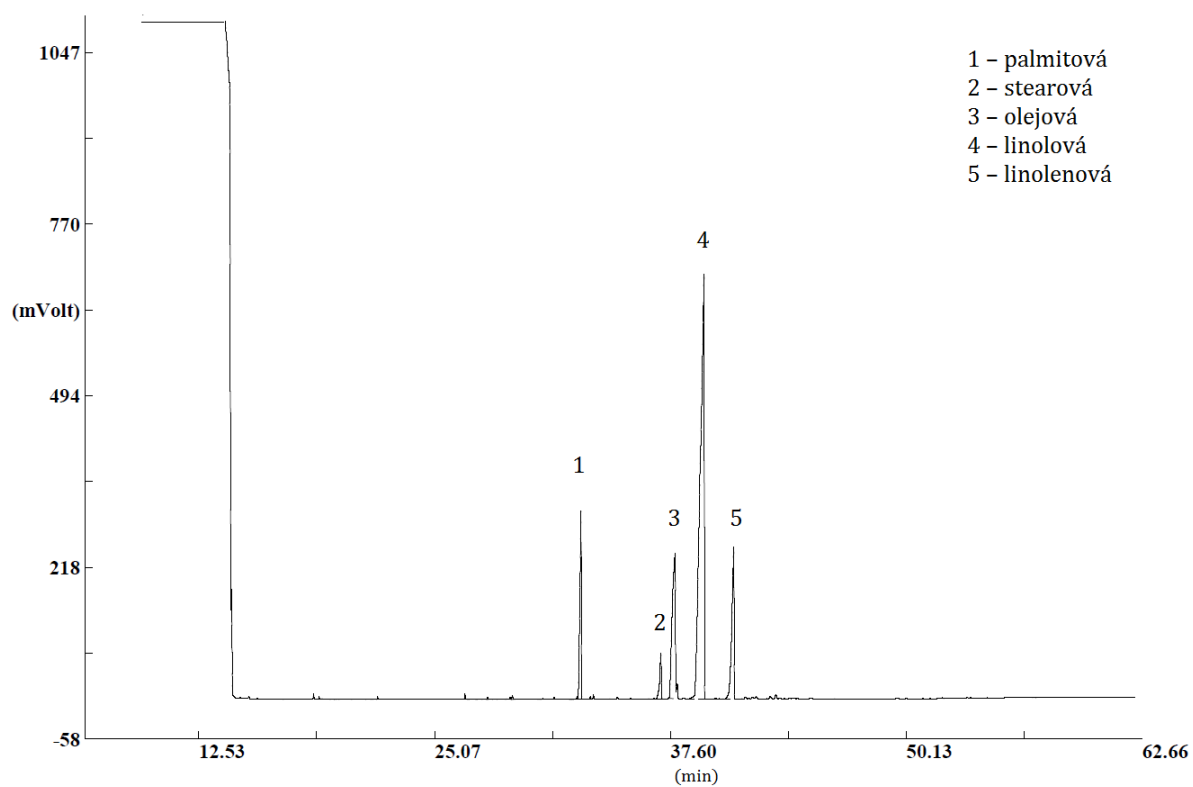
Příloha 3: Přehled standardů použitých k identifikaci a kvantifikaci mastných kyselin

Mastná kyselina	Retenční čas [min]	Plocha píku [mV·s]	Koncentrace [mg·ml⁻¹]
kapronová	19,02	1 493 995	0,04
kaprylová	22,18	2 036 048	0,04
kaprinová	24,58	2 342 568	0,04
undekanová	25,71	1 294 329	0,02
laurová	26,85	2 686 708	0,04
tridekanová	28,07	1 344 971	0,02
myristová	29,48	2 680 895	0,04
myristolejová	30,21	1 333 313	0,02
pentadekanová	31,15	1 255 379	0,02
cis-10-pentadecenová	32,05	1 236 089	0,02
palmitová	33,11	3 646 247	0,06
palmitolejová	33,83	1 235 795	0,02
heptadekanová	35,12	1 093 884	0,02
cis-10-heptadecenová	35,88	1 091 403	0,02
stearová	37,29	2 163 296	0,04
elaidová	37,70	1 039 347	0,02
olejová	38,00	2 423 516	0,04
linolelaidová	38,55	956 875	0,02
linolová	39,32	1 091 573	0,02
gama-linolenová	40,19	987 490	0,04
linolenová	41,12	966 690	0,02
arachová	42,72	1 921 526	0,02
cis-11-eicosenová	43,71	975 727	0,02
cis-11,14-eicosadienová	45,65	901 078	0,04
heneicosanová	46,22	935 563	0,02
cis-8,11,14-eicosatrienová	46,92	850 207	0,04
arachidonová	47,76	786 634	0,02
cis-11,14,17-eicosatrienová	48,29	792 536	0,02
cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenová	50,55	1 875 919	0,02
behenová	50,74	658 844	0,02
eruková	51,79	894 601	0,02
cis-13,16-docosadienová	53,59	867 651	0,02
trikosanová	54,00	908 962	0,04
lignocerová	57,55	1 803 368	0,02
cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenová	58,83	1 487 090	0,02

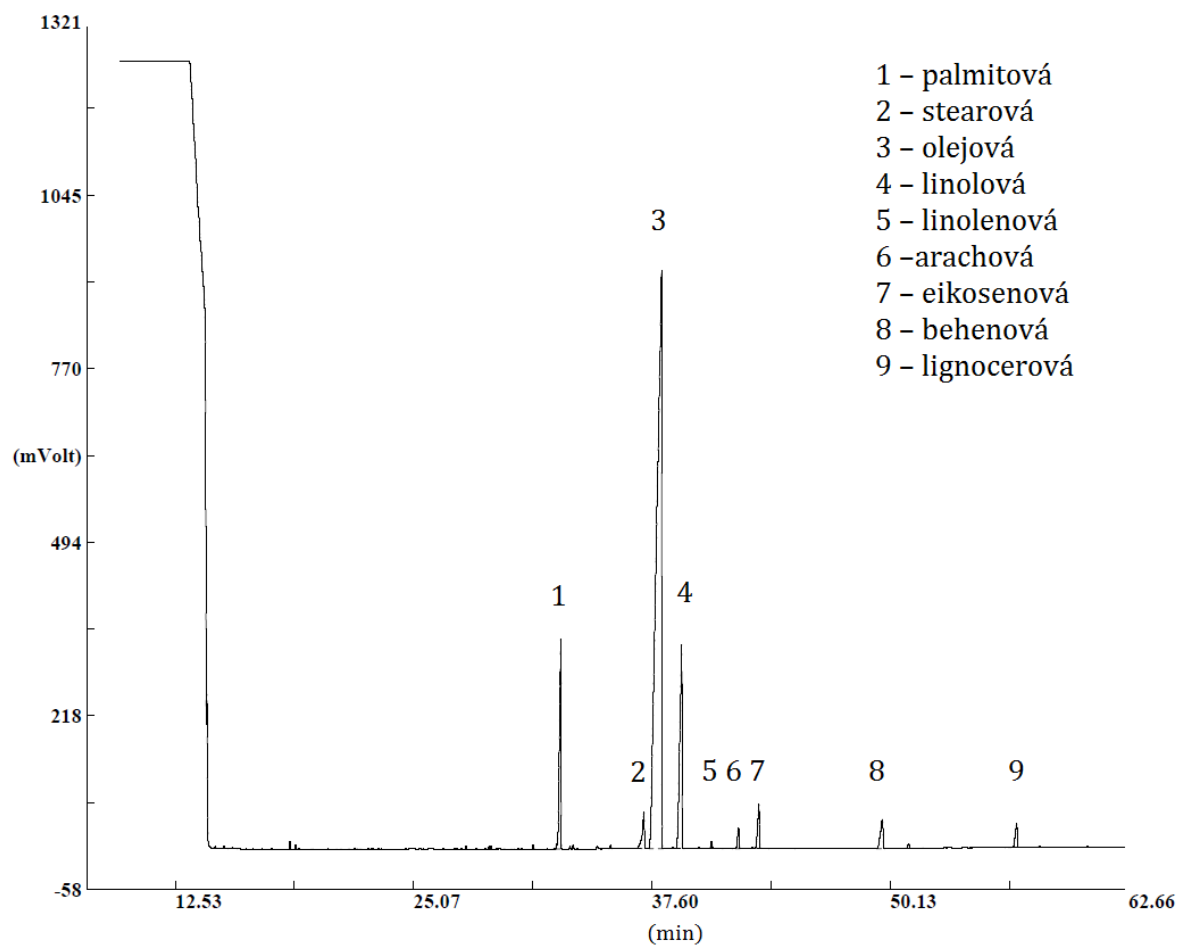
Příloha 4: Ukázka chromatogramu mastných kyselin identifikovaných ve vzorku kokosového oleje



Příloha 5: Ukázka chromatogramu mastných kyselin identifikovaných ve vzorku vlašského oleje



Příloha 6: Ukázka chromatogramu mastných kyselin identifikovaných ve vzorku arašídového oleje



Příloha 7: Ukázka chromatogramu mastných kyselin identifikovaných ve vzorku arašídového másla

