

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Vplyv smaženia živočíšnych a rastlinných proteínov na kvalitu repkového oleja  
Bakalárska práca

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Alžběta Slavníková**  
Osobní číslo: **C22061**  
Studijní program: **B0531A130024 Hodnocení a analýza potravin**  
Téma práce: **Vplyv smaženia živočíšnych a rastlinných proteínov na kvalitu repkoveho oleja**  
Téma práce anglicky: **The effect of frying animal and plant proteins on the quality of rapeseed oil**  
Zadávající katedra: **Katedra analytické chemie**

## Zásady pro vypracování

- Definujte v práci, čo je alternatívna strava založená na konzumácii iba rastlinných proteínov, definujte bielkoviny a ich zloženie v rastlinnej strave. Definujte, čo sú tuky a oleje (ich chemické a funkčné vlastnosti). Opíšte proces smaženia z hľadiska chemických zmien v oleji alebo smaženej potravine vrátane metód určovania kvality smažiaceho média. Využite zdroje dostupné v odborných databázach na UPCE.
- Overte kvalitu oleje po smažení rastlinných a živočíšnych proteínov. Navrhnite experiment a po vykonaní vyhodnotte jeho výsledky.
- V závere potvrdte, či sa smaženie rôznych proteínov prejaví na kvalite oleja.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Jazyk zpracování: **Slovenština**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2025**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2025**

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**doc. Ing. Petr Česla, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2025

Prehlasujem:

Prácu s názvom Vplyv smaženia živočíšnych a rastlinných proteínov na kvalitu repkového oleja som vypracovala samostatne. Všetky literárne pramene a informácie, ktoré som v práci využila, sú uvedené v zozname použitej literatúry.

Bola som oboznámená s tým, že sa na moju prácu vzťahujú práva a povinnosti vyplývajúce zo zákona č. 121/2000 Zb. o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon) v znení neskorších predpisov, najmä so skutočnosťou, že Univerzita Pardubice má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití tejto práce ako školského diela podľa § 60 ods. 1 autorského zákona, a s tým, že pokiaľ dôjde k použitiu tejto práce mnou alebo bude poskytnutá licencia o použití inému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávnená od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré na vytvorenie diela vynaložila, a to podľa okolností až do ich skutočnej výšky.

Beriem na vedomie, že v súlade s § 47b zákona č. 111/1998 Zb. o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách) v znení neskorších predpisov a smernicou Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidlá pre odovzdávanie, zverejňovanie a formálnu úpravu záverečných prác, v znení neskorších dodatkov, bude práca zverejnená prostredníctvom Digitálnej knižnice Univerzity Pardubice.

V Pardubiciach dňa 17. 6. 2025

Alžběta Slavníková v.r.

## **POĎAKOVANIE**

Chcela by som poďakovať vedúcemu mojej bakalárskej práce Doc. Ing. Liborovi Červenkovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a venovaný čas a rýchlu spätnú väzbu, ktorú mi poskytoval počas vypracovania práce. Zároveň ďakujem aj za pomoc pri realizácii experimentálnej časti.

## **ANOTÁCIA**

Bakalárska práca sa zameriava na porovnanie vplyvu tepelného spracovania rastlinnej (tofu) a živočíšnej (kuracie mäso) bielkoviny na kvalitu repkového oleja. Ukazovateľmi oxidácie oleja boli peroxidové číslo, p-anisidínové číslo a obsah konjugovaných diénov. Výsledky ukázali, že olej po smažení tofu vykazoval vyšší stupeň oxidácie v porovnaní s kuracím mäsom. Naopak, olej po smažení kuracieho mäsa mal vo všetkých stanovených parametroch najnižšie hodnoty. Práca poukazuje na dôležitosť výberu potraviny pri tepelnej úprave v oleji, ktorá môže výrazne ovplyvniť jeho kvalitu.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Rastlinná strava, bielkoviny, tuky a oleje, smaženie, repkový olej

## **TITLE**

The effect of frying animal and plant proteins on the quality of rapeseed oil

## **ANNOTATION**

The bachelor thesis focuses on the comparison of the influence of heat treatment of vegetable (tofu) and animal (chicken) protein on the quality of rapeseed oil. The indicators of oil oxidation were peroxide value, p-anisidine value and conjugated diene content. The results showed that the oil showed higher oxidation after frying tofu compared to chicken. On the contrary, oil after frying chicken had the lowest values in all the parameters determined. The work highlights the importance of food selection in oil cooking, which can significantly affect its quality.

## **KEYWORDS**

Plant-based diet, protein, fats and oils, frying, rapeseed oil

## OBSAH

<b>ZOZNAM ILUSTRACÍ.....</b>	<b>9</b>
<b>ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>1 RASTLINNÁ STRAVA .....</b>	<b>12</b>
1.1 Vegetariánstvo.....	12
1.2 Vegánstvo.....	12
1.3 Príčiny voľby alternatívnych životných štýlov.....	13
<b>2 BIELKOVINY .....</b>	<b>14</b>
2.1 Štruktúra bielkovín.....	14
2.2 Aminokyseliny.....	14
<b>3 TUKY A OLEJE.....</b>	<b>17</b>
3.1 Funkcie lipidov.....	17
3.2 Štruktúra lipidov.....	17
3.3 Mastné kyseliny.....	18
3.3.1 Nenasýtené mastné kyseliny.....	18
3.3.2 Polohové izoméry mastných kyselín.....	19
3.4 Rastlinné oleje a ich význam v strave.....	20
<b>4 SMAŽENIE .....</b>	<b>22</b>
4.1 Definícia a kritéria na smaženie.....	22
4.2 Oleje vhodné na smaženie.....	23
4.2.1 Repkový olej.....	24
4.2.2 Slniečnicový olej.....	25
4.2.3 Arašidový olej.....	25
4.2.4 Kukuričný olej.....	26
4.3 Chemické a fyzikálne zmeny oleja počas smaženia.....	26
<b>5 ZMENY KVALITY OLEJA PRI SMAŽENÍ.....</b>	<b>28</b>
5.1 Číslo kyslosti.....	28
5.2 Peroxidové číslo + dieny.....	29
5.3 Jódové číslo.....	30
5.4 P-anisidinové číslo.....	30

<b>5.5</b>	<b>Tiobarbiturové číslo.....</b>	<b>30</b>
<b>5.6</b>	<b>Oligomérne lipidy .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTÁLNA ČASŤ .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Príprava vzoriek .....</b>	<b>32</b>
<b>6.2</b>	<b>Stanovenie peroxidového čísla .....</b>	<b>34</b>
<b>6.3</b>	<b>Stanovenie p-anisidinového čísla .....</b>	<b>35</b>
<b>6.4</b>	<b>Stanovenie obsahu konjugovaných diénov .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUSIA .....</b>	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>Peroxidové číslo.....</b>	<b>37</b>
<b>7.2</b>	<b>P-anisidinové číslo.....</b>	<b>37</b>
<b>7.3</b>	<b>Konjugované diény .....</b>	<b>38</b>
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>40</b>
	<b>POUŽITÉ ZDROJE .....</b>	<b>41</b>

## **ZOZNAM ILUSTRACIÍ**

Obr. 1 vznik peptidovej väzby a dipeptidu .....	14
Obr. 2 esenciálne aminokyseliny [5] .....	15
Obr. 3 reakcia glycerolu s masnými kyselinami za vzniku triacylglycerolu .....	17
Obr. 4 Omega masné kyseliny .....	19
Obr. 5 konfigurácia cis a trans masných kyselín [12] .....	19
Obr. 6 Druhy olejov .....	23
Obr. 7 Použité bielkoviny na smaženie .....	32
Obr. 8 smaženie kuracieho mäsa .....	33
Obr. 9 smaženie Tofu natural .....	33
Obr. 10 vznik chrumkavej, zlatohnedej kôrky .....	34

## **ZOZNAM TABULIEK**

Tabuľka 1 Priemerné hodnoty peroxidového čísla vzoriek ( $\pm$ smerodajná odchýlka) .....	37
Tabuľka 2 Priemerné hodnoty p-anisidinového čísla vzoriek ( $\pm$ smerodajná odchýlka) .....	38
Tabuľka 3 Priemerné hodnoty konjugovaných diénov vzoriek ( $\pm$ smerodajná odchýlka) .....	38

## **ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK**

DAG- diacylglyceridy

FFA- voľné mastné kyseliny

HDL- lipoproteíny s vysokou hustotou

KOH- hydroxid draselný

LDL- lipoproteíny s nízkou hustotou

MAG- monoacylglyceridy

MUFA- mononenasýtené mastné kyseliny

PUFA- polynenasýtené mastné kyseliny

SFA- nasýtené mastné kyseliny

TPC- celkové polárne zlúčeniny

## ÚVOD

Smaženie patrí medzi bežne používané spôsoby tepelnej úpravy potravín, pričom výrazne ovplyvňuje nielen vlastnosti samotnej potraviny, ale aj kvalitu použitého oleja. Pri vysokých teplotách dochádza k chemickým zmenám, najmä oxidácii tukov, čo môže viesť k zhoršeniu nutričných aj senzorických vlastností oleja.

Repkový olej je obľúbený najmä vďaka svojmu zloženiu, no obsahuje nenasýtené mastné kyseliny, ktoré sú náchylné na oxidáciu pri vyšších teplotách. Cieľom tejto práce bolo porovnať, ako ovplyvňuje smaženie rastlinnej (tofu) a živočíšnej (kuracie mäso) bielkoviny mieru oxidácie repkového oleja.

Na hodnotenie oxidačných zmien boli použité tri parametre: peroxidové číslo, p-anisidinové číslo a obsah konjugovaných diénov. Výsledky umožňujú porovnať, ktorá bielkovina spôsobuje väčšie zmeny v oleji a aký môže byť vplyv zvoleného typu potraviny na kvalitu oleja počas tepelného spracovania.

# 1 Rastlinná strava

Záujem o rastlinnú stravu v posledných desaťročiach neustále rastie, najmä vďaka jej možným zdravotným prínosom a pozitívnemu vplyvu na životné prostredie. Presná definícia rastlinnej stravy však nie je jednotná. Niektoré stravovacie návyky úplne vylučujú živočíšne produkty, zatiaľ čo iné pripúšťajú ich obmedzenú konzumáciu, napríklad mäsa, rýb či mliečnych výrobkov [1]. Rastlinná strava kladie dôraz na vysoký podiel rastlinných potravín, vrátane zeleniny, ovocia, celozrnných výrobkov, orechov a semien. Príkladmi sú vegetariánstvo a vegánstvo [2].

## 1.1 Vegetariánstvo

Vo vegetariánskej strave sú vylúčené všetky druhy mäsa. Niekedy však, niektorí jedinci vylučujú červené mäso a hydinu, ale konzumujú ryby. Táto skupina sa označuje ako pesketariáni.

Strava pozostáva prevažne z rastlinných zdrojov a môže zahŕňať aj živočíšne produkty, ako sú mlieko, mliečne výrobky, vajcia a med. Potraviny vhodné pre vegetariánov sú definované ako potraviny, ktoré neobsahujú mäso ani produkty z neho. Pri ich výrobe a spracovaní sa nepoužívajú ani nepridávajú zložky živočíšneho pôvodu, s výnimkou mlieka a mliečnych výrobkov, vajec, medu a včelieho vosku [2].

## 1.2 Vegánstvo

Vegánstvo patrí medzi najprísnejšie formy vegetariánskych diét, pretože z jedálnečky vylučuje všetky živočíšne produkty. Zatiaľ čo zmiešaná strava bežne zabezpečuje dostatočný prísun viacerých živín, pri vegánskej strave môže byť ich príjem náročnejší. Preto je nevyhnutné zabezpečiť správny výber rastlinných potravín alebo vhodných výživových doplnkov. Medzi potenciálne nedostatkové živiny pri vegánskej strave patria bielkoviny, n-3 mastné kyseliny s dlhým reťazcom (ako kyselina eikosapentaenová a dokosaheptaenová), vitamíny B2, B3, B12 a D, ako aj minerálne látky ako vápnik, železo, zinok, jód a selén [3].

Okrem výživového hľadiska zohráva pri vegánstve dôležitú úlohu aj etický rozmer. Cieľom je eliminovať všetky formy vykorisťovania zvierat, vrátane ich využívania na potravu, oblečenie alebo akéhokoľvek iného účelu. Vegáni konzumujú výlučne rastlinnú stravu - nič, čo pochádza zo zvierat, takže nekonzumujú mäso, ryby, mliečne výrobky, vajcia, med, želatínu ani produkty obsahujúce zložky živočíšneho pôvodu.

Avšak vegánstvo nie je len o strave. Ľudia, ktorí dodržiavajú vegánsku diétu, nevyužívajú ani rastlinné produkty, ktoré boli vyrobené za použitia zvierat. Odmietajú kozmetiku testovanú na zvieratách a produkty módného priemyslu, ako sú koža, kožušina, perie či vlna [2].

### **1.3 Príčiny voľby alternatívnych životných štýlov**

Dôvodov je hneď niekoľko. Medzi najčastejšie patrí náboženské presvedčenie, zdravotné, etnické alebo morálne dôvody. Mnoho ľudí sa rozhoduje pre túto cestu kvôli snahe vyhnúť sa krutosti voči zvieratám.

Ďalším dôležitým dôvodom môžu byť aj environmentálne faktory, ako sú emisie skleníkových plynov a nižšia spotreba pôdy, vody a energie v porovnaní s chovom zvierat a dobytká [4].

Je vedecky dokázané, že ekologická stopa všežravnej stravy je vyššia než pri vegetariánskej a vegánskej strave. Dodržiavanie týchto diét môže byť tiež z praktických dôvodov, ako sú ekonomické problémy alebo obmedzený prístup k živočíšnym potravinám. Väčšina ľudí však tento životný štýl dodržiava dobrovoľne a z vlastného rozhodnutia [2].

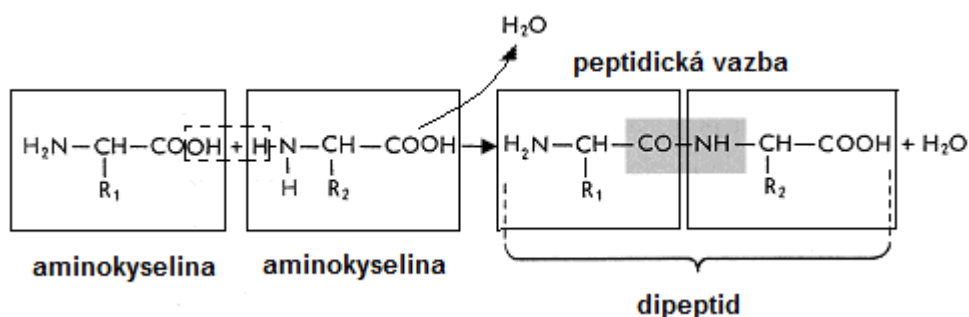
## 2 Bielkoviny

Bielkoviny sú dôležitou súčasťou ľudskej výživy, pretože poskytujú telu dusík a pozostávajú z rôznych aminokyselín. Niektoré z nich si organizmus nedokáže sám vytvoriť, a preto ich musí prijímať potravou. Bielkoviny sú zastúpené v širokej škále potravín, pričom ich hlavnými zdrojmi sú živočíšne a rastlinné produkty [5].

### 2.1 Štruktúra bielkovín

Bielkoviny sú základnou makroživinou v ľudskej strave. Ich chemická štruktúra sa skladá z uhlíka, dusíka, kyslíka, vodíka, síry a fosforu. Vlastnosti a funkcie bielkovín závisia od ich štruktúry. Rozdeľujú sa na jednoduché a zložené bielkoviny. Jednoduché pozostávajú hlavne z aminokyselín, zatiaľ čo zložené bielkoviny majú vo svojom reťazci aj iné zložky naviazané na aminokyseliny [6].

Bielkoviny sa skladajú z jedného alebo viacerých dlhých reťazcov aminokyselinových zvyškov. Polypeptid je lineárny reťazec aminokyselín a každá bielkovina obsahuje minimálne jeden dlhý polypeptidový reťazec. Aminokyselinové zvyšky sú navzájom prepojené peptidovými väzbami [6] (Obr.1).



Obr. 1 vznik peptidovej väzby a dipeptidu

Dostupné na: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna\\_chemie/web/pages/19-vazba-v-biopolymerech.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna_chemie/web/pages/19-vazba-v-biopolymerech.html)

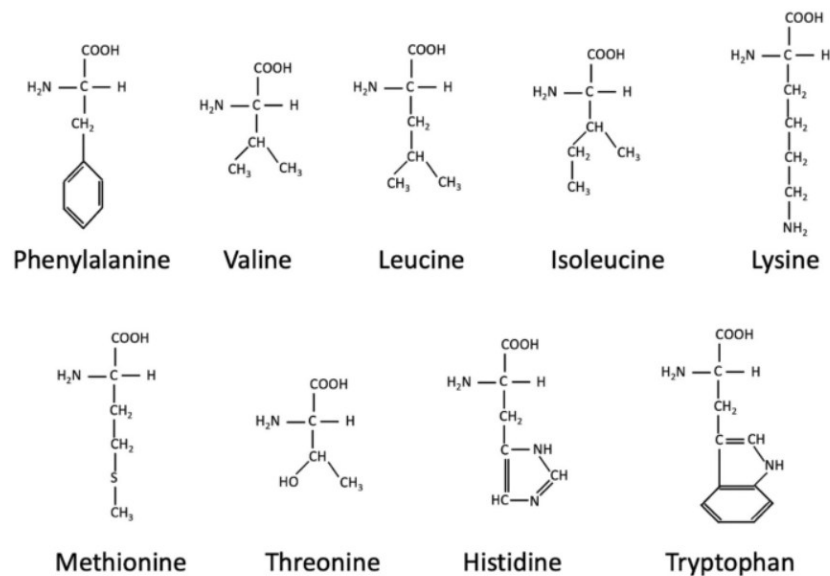
Bielkoviny sú nevyhnutnou súčasťou stravy, pretože ľudský organizmus neustále podlieha zložitým metabolickým procesom, ktoré súvisia so syntézou a rozkladom bielkovín. Tento proces sa nazýva proteínový obrat [6].

### 2.2 Aminokyseliny

Základnou jednotkou bielkovín sú aminokyseliny. Bielkoviny sú jedinou makroživinou, ktorá obsahuje dusík pre ľudský organizmus. V strave sa bežne vyskytuje dvadsať aminokyselín, ktoré sa ďalej rozdeľujú na neesenciálne a esenciálne aminokyseliny [5].

Neesenciálne aminokyseliny si ľudský organizmus dokáže ľahko syntetizovať z dostupných prekursorov, preto nie je potrebné ich získať zo stravy na zabezpečenie dostatočného množstva v tele [5].

Esenciálne aminokyseliny sa musia získať zo stravy, pretože ľudské telo nemá potrebné enzýmy na ich syntézu. Z dvadsiatich aminokyselín je pre ľudský organizmus esenciálnych deväť: fenylalanín, valín, leucín, izoleucín, lyzín, metionín, treonín, histidín a tryptofán (Obr.2).



Obr. 2 esenciálne aminokyseliny [5]

Obsah esenciálnych aminokyselín sa líši v závislosti od zdroja bielkovín v strave. Väčšina živočíšnych bielkovín, ako sú vajcia, mliečne výrobky, červené mäso, hydina, ryby a ďalšie živočíšne produkty, obsahuje všetky esenciálne aminokyseliny v dostatočnom množstve pre optimálne fungovanie organizmu [5].

Rastlinné bielkoviny síce obsahujú esenciálne aminokyseliny, no ich množstvo sa líši v závislosti od zdroja, pričom niektoré môžu byť prítomné v nižších koncentráciách. Napríklad celozrnné obilniny, strukoviny, semená, orechy, brokolica alebo huby sú výbornými zdrojmi bielkovín, avšak nemusia poskytovať všetky esenciálne aminokyseliny v dostatočnom množstve [5]. Rastlinné bielkoviny môžu byť tzv. limitujúce, teda obsahovať nedostatočné množstvo jednej alebo viacerých esenciálnych aminokyselín. Napríklad strukoviny majú často nižší obsah aminokyselín obsahujúcich síru, ako sú metionín a cysteín, zatiaľ čo obilniny zvyčajne obsahujú menej lyzínu.

Je vhodné spomenúť, že rastlinné bielkoviny sa líšia podľa množstva limitujúcich aminokyselín. Obilniny sú napríklad dobrým zdrojom aminokyselín obsahujúcich síru, no majú nízky obsah lyzínu. Naopak, strukoviny sú bohaté na lyzín, ale majú obmedzený obsah sírnych aminokyselín. Kombináciou týchto dvoch skupín rastlinných potravín v rámci denného jedálnička je možné zabezpečiť vyvážený príjem všetkých esenciálnych aminokyselín [7].

### 3 Tuky a oleje

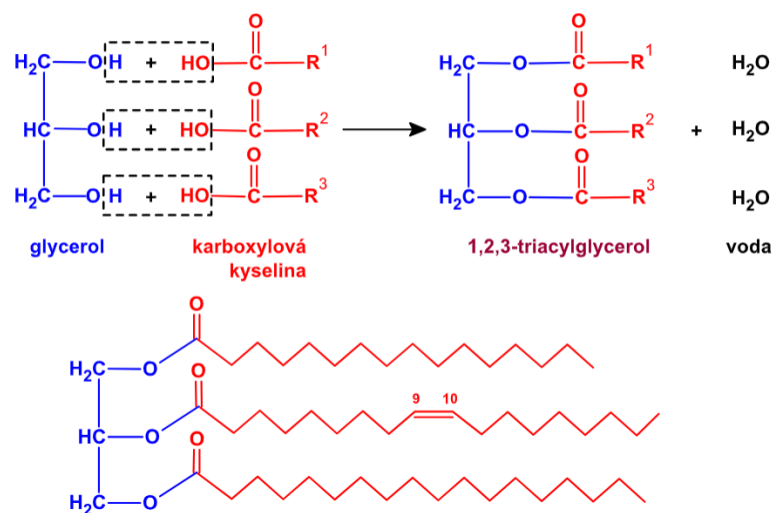
Tuky a oleje sú najbohatším zdrojom energie zo základných makroživín. Veľa z nich obsahuje potrebné mastné kyseliny, ktoré si ľudské telo nedokáže syntetizovať. Všetky jedlé tuky a oleje sú vo vode nerozpustné a pri izbovej teplote sú tuky obvykle tuhé, zatiaľ čo oleje majú kvapalné skupenstvo [8]. Pri tepelnej úprave jedál sa z lipidov vytvárajú rôzne látky, ktoré prispievajú k typickej chuti a vôni pokrmov a potravinárskych výrobkov [9].

#### 3.1 Funkcie lipidov

Lipidy sú kľúčovou zložkou živých organizmov. V bunkách plnia niekoľko významných úloh. Tvoria súčasť bunkových membrán, slúžia ako zásobáreň ľahko dostupnej chemickej energie a niektoré polynenasýtené mastné kyseliny pôsobia ako prekursori signálnych molekúl, ktoré majú účinok podobný tkaninovým hormónom [10].

#### 3.2 Štruktúra lipidov

Lipidy sú estery a étery alkoholov a karboxylových kyselín. Hlavným alkoholom v tukoch je glycerol. Karboxylové kyseliny môžu byť nasýtené, nenasýtené, cyklické alebo obsahujú hydroxylovú skupinu. Reťazec môže byť alifatický alebo rozvetvený. Karboxylové kyseliny, ktoré sú súčasťou lipidov, sa označujú aj ako mastné kyseliny [10] (Obr.3).



Obr. 3 reakcia glycerolu s mastnými kyselinami za vzniku triacylglycerolu

Dostupné na: [http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni\\_latky\\_lipidy.html](http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni_latky_lipidy.html)

### 3.3 Mastné kyseliny

Tuky a oleje sú rastlinného pôvodu, ktoré sú zmesami esterov odvodených od glycerolu s reťazcami mastných kyselín. Vlastnosti tukov a olejov závisia na typu a pomere mastných kyselín v triacylglycerole. Mastné kyseliny sa ďalej delia na:

- nasýtené- uhlíkový reťazec bez dvojitých väzieb
- mononenasýtené- uhlíkový reťazec s jednou dvojitou väzbou
- polynenasýtené- uhlíkový reťazec s niekoľkými dvojitými väzbami

Veľkú rolu zohráva zloženie mastných kyselín v oleji alebo tuku. Podľa zloženia je možné určiť ich fyzikálno-chemické vlastnosti a stanoviť stabilitu. Platí, čím vyšší stupeň nenasýtených mastných kyselín sa nachádza v olejoch, tým viac podliehajú oxidácii [11].

Mastné kyseliny s kratšími reťazcami sa tavia pri nižších teplotách a majú lepšiu rozpustnosť vo vode. Na druhej strane, mastné kyseliny s dlhšími reťazcami majú vyšší bod topenia. Nenasýtené mastné kyseliny sa topia pri nižších teplotách ako nasýtené mastné kyseliny s rovnakou dĺžkou reťazca.

V rastlinných tukoch a olejoch sa vyskytujú prevažne nasýtené a nenasýtené mastné kyseliny s alifatickým reťazcom. Zvyčajne obsahujú párny počet uhlíkov (16–18) a jednu karboxylovú skupinu [11].

#### 3.3.1 Nenasýtené mastné kyseliny

Nenasýtené mastné kyseliny sa môžu ďalej deliť podľa štruktúry do kategórie ako omega. Omega-9 mastné kyseliny sú pre ľudské telo neesenciálne, teda si ich organizmus dokáže syntetizovať sám. Na druhej strane omega-3 (kyselina linolenová) a omega-6 (kyselina linolová) sú esenciálne mastné kyseliny. Človek ich musí prijať z potravy [9,11] (Obr.4).

Kyselina laurová (nasycená)



Kyselina linolová (polynenasycená, omega-6)



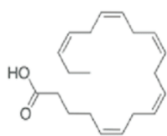
Kyselina olejová (mononenasycená, omega-9)



Kyselina alfa-linolenová (polynenasycená, omega-3)



Kyselina eikosapentaenová (EPA, polynenasycená, omega-3)



Kyselina dokosahexaenová (DHA, polynenasycená, omega-3)

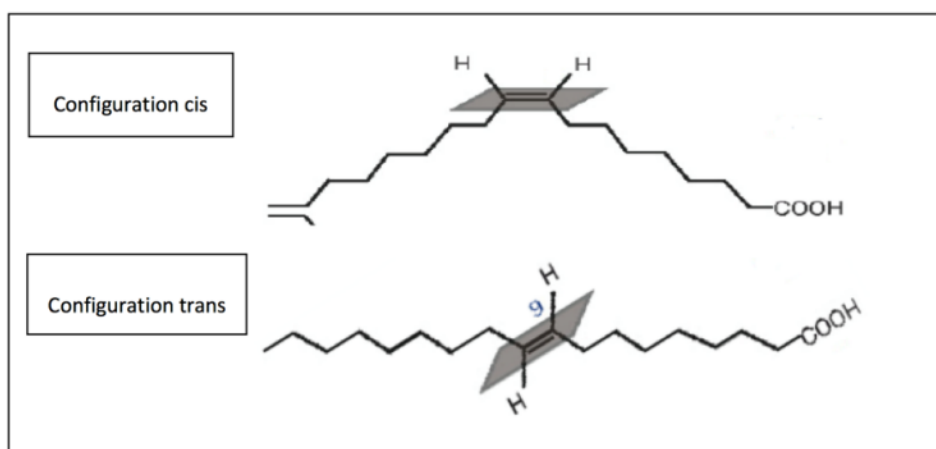


Obr. 4 Omega mastné kyseliny

Dostupné z: <https://proveg.org/cz/5-pros/pro-zdravi/omega-mastne-kyseliny/?category=>

### 3.3.2 Polohové izoméry mastných kyselín

Mastné kyseliny sú uhl'ovodíkové reťazce, ktoré sa líšia dĺžkou, počtom dvojitých väzieb a ich priestorovým usporiadaním. Podľa konfigurácie dvojitých väzieb sa mastné kyseliny rozdeľujú na *cis* a *trans* formy. Pri *cis* konfigurácii sa atómy vodíka nachádzajú na rovnakej strane dvojitej väzby, zatiaľ čo pri *trans* konfigurácii sú umiestnené na opačných stranách [12] (Obr.5).



Obr. 5 konfigurácia cis a trans mastných kyselín [12]

Rozdiely v priestorovej štruktúre ovplyvňujú kryštalickú štruktúru, to potom mení fyzikálnochemické vlastnosti, ako napríklad bod topenia. Konfigurácia *cis* a *trans* mastných kyselín neovplyvňuje len ich geometrickú štruktúru a fyzikálnochemické vlastnosti, ale má aj významný dopad na ich fyziologické účinky po ich prijatí v podobe potravy [13].

V potrave sa nenasýtené mastné kyseliny vyskytujú prevažne v *cis* forme, avšak *trans* konfigurácia je tiež prítomná, pričom množstvo závisí od druhu potravín. V *cis* konfigurácii dva atómy vodíka okolo dvojitej väzby usporiadané rovnakým smerom, takto vytvárajú zakrivené reťazce [12,13].

V *trans* konfigurácii sú dva atómy vodíka okolo dvojitej väzby usporiadané v opačných smeroch. Uhly väzieb sa vyrovnávajú, čo vedie k vytvoreniu priamočiareho reťazca, ktorý sa podobá štruktúre nasýtených mastných kyselín [13].

*Trans* mastné kyseliny môžu pochádzať z troch hlavných zdrojov:

1. Prírodný pôvod: nachádzajú sa v mlieku, mliečnych výrobkoch a mäse prežúvavcov. Vznikajú v dôsledku bakteriálnej premeny nenasýtených mastných kyselín v bachore, čo je prvá časť žalúdka prežúvavcov.
2. Priemyselná hydrogenácia: vznikajú pri čiastočnej hydrogenácii rastlinných olejov v priemyselnej výrobe. Tento proces premieňa tekuté rastlinné oleje na pevné tuky, aby sa zlepšila ich stabilita a konzistencia pri izbovej teplote.
3. Tepelná úprava: vznikajú pri intenzívnom zahrievaní nenasýtených tukov, či už priemyselne, napríklad pri rafinácii alebo dezodorácii rastlinných olejov, alebo pri domácej príprave jedál, ako je varenie, vyprážanie či grilovanie [12].

*Trans* mastné kyseliny sa vyskytujú v rôznych potravinách, pričom ich hlavnými zdrojmi sú priemyselné spracované tuky. V potravinárskom priemysle sú čiastočne hydrogenované rastlinné oleje obľúbenejšie než živočíšne tuky, a to najmä z ekonomických dôvodov, keďže sú lacnejšie. Vyznačujú sa dlhou trvanlivosťou, vysokou odolnosťou voči oxidácii a stabilitou pri vysokých teplotách počas tepelnej úpravy jedál. Čiastočná hydrogenácia navyše zlepšuje konzistenciu, chuť a stráviteľnosť produktov [12,13].

### **3.4 Rastlinné oleje a ich význam v strave**

Rastlinné oleje sú hlavnou súčasťou stravy pre človeka a môže tvoriť až štvrtinu priemerného kalorického príjmu. Ďalej, majú zásadnú funkčnú a sensorickú úlohu v potravinách a slúžia ako

zdroj vitamínov rozpustných v tukoch ( A, D, E, a K). Rastlinné oleje taktiež poskytujú esenciálne mastné kyseliny, ako sú kyselina linolová a linolénová, ktoré sú nevyhnuté pre rast a rozvoj organizmu.

Pomer medzi nasýtenými a nenasýtenými mastnými kyselinami v jedlých olejoch a tukoch zohráva rozhodujúcu úlohu z hľadiska ich výživovej hodnoty. Hoci vysoký podiel nasýtených mastných kyselín zvyšuje stabilitu oleja, z výživového hľadiska je to nežiadúce, pretože ich nadmerný príjem môže viesť k zvýšeniu hladiny lipoproteínov s nízkou hustotou (LDL), čo negatívne ovplyvňuje pomer medzi LDL a HDL (lipoproteíny s vysokou hustotou). To zvyšuje riziko tvorby kardiovaskulárnych chorôb.

Naopak, vyšší príjem kyseliny linolovej a linolénovej vedie k zvýšeniu hladiny HDL-cholesterolu a zníženiu LDL-cholesterolu. Vyšší príjem kyseliny olejovej prispieva k zníženiu LDL-cholesterolu, ale nemá výrazný vplyv na hladinu HDL-cholesterolu [11].

## 4 Smaženie

Analýza potravín sa zameriava na sledovanie zmien, ktoré sa tvoria počas spracovania potravín. Tepelné spracované potraviny a ich zmeny v zložení môžu zlepšiť niekoľko vlastností, napríklad chuť, zvýšiť stráviteľnosť produktu alebo upraviť jeho textúru. Zároveň však môžu vzniknúť aj škodlivé chemické zlúčeniny [14].

Smaženie, ako jeden z najbežnejších tepelných procesov pri príprave mäsových výrobkov, môže spôsobiť dehydratáciu, vznik hnednutia a vstrebávania tukov v dôsledku vysokých varných teplôt [15].

### 4.1 Definícia a kritéria na smaženie

Smaženie v tuku alebo oleji predstavuje proces, pri ktorom dochádza k súčasnému prenosu tepla a hmoty. Potravina sa ponorí do horúceho oleja s teplotou približne 180 °C alebo vyššou. Počas tohto procesu sa vodná para uvoľňuje z potraviny a následne prechádza do oleja a do okolitej atmosféry. V rámci tohto procesu prebiehajú rôzne chemické reakcie, ako tepelná oxidácia, polymerizácia a hydrolýza. Výsledkom týchto reakcií je tvorba nerozpustných a neprchavých zlúčenín, ktoré vedú k stmavnutiu oleja, zvýšeniu jeho viskozity, penivosti a zníženiu bodu dymivosti [16].

Vyprážanie je tepelná úprava potravín, pri ktorej sa na prenos tepla využíva tuk alebo olej, pričom potravina prichádza do priameho kontaktu s horúcim médiom. Intenzívny prenos tepla vytvára teplotný rozdiel medzi povrchom a vnútrom potraviny, čo vedie k vzniku charakteristickej dvojitej štruktúry- chrumkavej, zlatohnedej kôrky na povrchu a šľavnatej, mäkkej vnútornej časti .

Rozlišujú sa tri hlavné typy vyprážania:

1. **Smaženie na panvici (Pan frying):** Používa sa malé množstvo tuku alebo oleja, pričom jedlo sa vypráža najčastejšie z jednej strany bez miešania. Tento spôsob je vhodný na prípravu plochých a tenkých potravín, ako sú omelety či rybie filé.
2. **Smaženie miešaním (Stir frying):** Menšie až stredne veľké kúsky potravín sa rýchlo smažia v malom množstve oleja pri vysokej teplote, pričom sa neustále miešajú.
3. **Fritovanie (Deep frying):** Potravina je úplne ponorená do horúceho oleja, vďaka čomu sa teplo prenáša rovnomerne a vytvára chrumkavú kôrku.

V priebehu vyprážania prebieha niekoľko javov:

- **Varenie**- tepelné účinky: jedným z cieľov vyprážania je tepelne upraviť potravinu, prebiehajú tam reakcie ako je želeťinácia škrobu, denaturácia bielkovín, hydrolyza, Maillardové reakcie
- **Dehydratácia**: počas procesu vyprážania môže nastať strata vlhkosti
- **Zmeny v obsahu tuku**: počas hlbokého vyprážania môže potravina absorbovať olej, zatiaľ čo pri plytkom vyprážaní môže dôjsť k strate tuku
- **Zmeny v štruktúre a textúre**: najbežnejším javom je tvorba kôrky [17].

## 4.2 Oleje vhodné na smaženie

Na vyprážanie je možné použiť širokú škálu olejov a tukov, pričom výber závisí najmä od regionálnej dostupnosti, kulinárskych tradícií a ekonomických faktorov. Vo východnej Európe dominuje slnečnicový olej, v oblasti Stredozemného mora olivový olej a v severnej Európe najmä repkový olej. V Afrike prevláda palmový olej, no používa sa aj arašidový a sójový olej.



*Obr. 6 Druhy olejov*

Dostupné z : <https://www.ketodiet.sk/clanky/blog/ako-vybrat-spravny-olej-na-vyprazanie/>

Spoločným znakom všetkých uvedených olejov je, že ich hlavnou zložkou sú triglyceridy. Zloženie minoritných zložiek je ovplyvnené botanickým pôvodom a technologickým procesom spracovania. Rastlinné oleje určené na vyprážanie zvyčajne prechádzajú procesom rafinácie, ktorý vedie k zníženiu obsahu niektorých menej zastúpených zlúčenín. Medzi tieto látky patria napríklad steroly, karotenoidy, fosfolipidy, vosky a stopové kovy. Niektoré z nich majú nutričný význam, zatiaľ čo iné môžu ovplyvňovať náchylnosť oleja na degradačné procesy.

Cieľom rafinácie je odstrániť zlúčeniny, ktoré spôsobujú nežiaducu farbu, vôňu alebo chuť surového oleja, a tým zlepšiť jeho kvalitu, stabilitu a zmyslové vlastnosti [18].

Ideálny fritovací olej by mal mať vhodné fyzikálno-chemické vlastnosti, ako sú dobrá tekutosť, nízka tendencia k peneniu a zadymeniu, neutrálny chuťový profil a vysoká oxidačná stabilita, ktorá zabezpečí kvalitu vyprážených potravín aj počas skladovania. Zároveň by mal byť ekonomicky výhodný [19]. Zloženie mastných kyselín vo fritovacom oleji je hlavným faktorom, ktorý ovplyvňuje chuť a stabilitu vyprážených jedál. Fritovací olej by mal mať dlhú životnosť, dobré organoleptické vlastnosti, nízky obsah nasýtených a transmastných kyselín a pomerne nízky podiel polynenasýtených mastných kyselín [20].

Degradácia fritovacích olejov závisí od pomeru nasýtených a nenasýtených mastných kyselín. Vysoký obsah polynenasýtených mastných kyselín urýchľuje oxidačnú degradáciu a ovplyvňuje antioxidačné vlastnosti olejov. Na zvýšenie oxidačnej stability počas vyprážania sa preto odporúča používať oleje s nízkym obsahom nenasýtených mastných kyselín. Poznanie stability olejov pri vyprážaní je nevyhnutné pre správny výber olejov, ktoré zabezpečujú lepšiu kvalitu vyprážených potravín [21].

Vstrebávanie oleja vo fritovaných potravinách môže výrazne ovplyvniť typ oleja a jeho zloženie. Rôzne oleje majú rozdielne chemické vlastnosti a to zahŕňa aj rozdiely v zložení mastných kyselín a dymivosti, ktoré majú podstatnú funkciu pri ich interakcii s potravinami počas vyprážania. Hydrogenované oleje boli populárne pre svoju chuť a chrumkavosť, avšak ich používanie sa obmedzilo kvôli zdravotným rizikám spojeným s *trans* mastnými kyselinami. Nenasýtené oleje sa preto stali preferovanou voľbou pri fritovaní. Ich používanie však môže viesť k vyššej mastnote vyprážených produktov, nižšej chrumkavosti a kratšej trvanlivosti v dôsledku oxidácie. Správny výber oleja na vyprážanie a pochopenie jeho vlastností môžu pomôcť regulovať a minimalizovať absorpciu oleja vo vyprážených potravinách [19].

Medzi najčastejšie používané oleje na fritovanie patria rastlinné oleje, najmä repkový, slnečnicový, arašidový, sójový a kukuričný olej. Repkový a arašidový olej sú charakteristické vysokým bodom zadymenia, čo ich robí ideálnymi na fritovanie [19].

#### **4.2.1 Repkový olej**

Jedna z najdôležitejších olejnin na svete je repka olejná. Výskumy naznačujú, že zloženie mastných kyselín repkového oleja má priaznivé účinky na zdravie, najmä ak je súčasťou nutrične vyváženej stravy [20].

Tento olej je bohatý na 18-uhlíkové mastné kyseliny, pričom prevažujú mononenasýtené mastné kyseliny, obzvlášť kyselina olejová. Zároveň obsahuje polynenasýtené mastné kyseliny, vrátane kyseliny linolovej a linolénovej. Navyše, spomedzi rastlinných olejov má najnižší obsah nasýtených mastných kyselín [20].

Repkový olej s vysokým obsahom kyseliny olejovej obsahuje viac ako 72 % tejto mastnej kyseliny a je známy svojou výnimočnou oxidačnou stabilitou. Kyselina olejová ako mononenasýtená mastná kyselina je stabilnejšia než iné nenasýtené mastné kyseliny a prispieva k zníženiu hladiny cholesterolu v krvi a ochrane kardiovaskulárneho systému [21]. Repkový olej je charakteristický vysokým obsahom mononenasýtených (MUFA) a polynenasýtených mastných kyselín (PUFA), s vyváženým pomerom omega-3 a omega-6 PUFA. V porovnaní s inými olejmi, ako je slnečnicový a sójový olej, obsahuje len malé množstvo nasýtených mastných kyselín (SFA). Okrem toho je zdrojom rastlinných sterolov a tokoferolov [19].

Vďaka vysokému bodu dymivosti a odolnosti voči polymerizácii sa repkový olej s vysokým obsahom kyseliny olejovej môže používať dlhšie bez nutnosti častej výmeny. To predžuje jeho životnosť, znižuje množstvo odpadu a šetrí náklady. Navyše, jeho nízky obsah nasýtených tukov a vyšší podiel mononenasýtených tukov, z neho robia zdravšou alternatívou, ktorá zodpovedá aktuálnym trendom v oblasti zdravej výživy [21].

#### **4.2.2 Slnečnicový olej**

Ďalším olejom vhodným na smaženie je slnečnicový olej. Vďaka vysokému podielu esenciálnych mastných kyselín, ktoré podporujú telesný rast, patrí medzi najlepšie možnosti na varenie [22]. Slnečnicový olej má pomerne vysoký obsah kyseliny linolovej, čo zvyšuje jeho náchylnosť na oxidáciu, najmä pri fritovaní [19]. Zároveň je bohatý na vitamíny, neobsahuje cholesterol a má príjemnú chuť. Obsahuje tiež vitamíny rozpustné v tukoch (E,D,A,K), ktoré pôsobia ako prírodné antioxidanty [22].

#### **4.2.3 Arašidový olej**

Arašidový olej, najčastejšie v rafinovanej forme, je často používaný na varenie a vyprážanie, vďaka svojej vysokej oxidačnej stabilite. Hlavnými producentmi sú Čína a India. Tento olej je bohatý na mononenasýtené mastné kyseliny, predovšetkým kyselinu olejovú, a obsahuje aj určité množstvo polynenasýtených mastných kyselín, najmä kyseliny linolovej. Podiel kyseliny linolénovej je zanedbateľný, čo ho robí ideálnym pre vyprážanie. Arašidový olej obsahuje aj nasýtené mastné kyseliny, predovšetkým kyselinu palmitovú a stearovú, pričom celkový podiel nasýtených mastných kyselín je relatívne nízky. Z hľadiska minoritných zložiek je obsah

sterolov a tokoferolov v arašidovom oleji nižší v porovnaní s inými rastlinnými olejmi, pričom najviac sú zastúpené gama- a alfa-tokoferol v približne rovnakom pomere. Tieto vlastnosti spolu s prítomnosťou tokoferolov zaisťujú oleju vysokú oxidačnú stabilitu a pomáhajú predchádzať degradácii počas používania na vyprážanie [18,19].

#### **4.2.4 Kukuričný olej**

Kukurica patrí medzi tri najvýznamnejšie obilniny pestované na svete, pričom hlavnými producentmi sú Spojené štáty americké, Čína a Brazília. Kukuričný olej sa získava z klíčkov ako vedľajší produkt pri výrobe kukuričného škrobu [18]. Kukuričný olej sa vyznačuje svojou univerzálnosťou pri varení. Oproti iným rastlinným olejom vyniká jedinečnými chuťovými vlastnosťami a výbornou oxidačnou stabilitou. Obsahuje približne 15 % nasýtených mastných kyselín, 25 % mononenasýtených mastných kyselín a 60 % polynenasýtených mastných kyselín. Patrí medzi oleje s vysokou koncentráciou kyseliny olejovej, kyseliny linolovej a  $\alpha$ -linolénovej. Vysoká koncentrácia prírodných antioxidantov, ako sú tokoferoly, tokotrienoly a ubichinóny, zabezpečuje jeho výnimočnú oxidačnú stabilitu. Vďaka týmto vlastnostiam zohráva dôležitú úlohu v priemyselných fritovacích procesoch [19].

### **4.3 Chemické a fyzikálne zmeny oleja počas smaženia**

Je vedecky dokázané, že druh a kvalita olejov významne ovplyvňujú stabilitu vyprážených potravín. Počas smaženia oleje podliehajú chemickým reakciám, ako sú oxidácia, hydrolýza, izomerizácia a polymerizácia, ktoré sú dôsledkom pôsobenia vysokej teploty, kyslíka a vlhkosti. Tieto procesy môžu viesť k zmene farby oleja, zvýšeniu viskozity, zhoršeniu kvality a vzniku zdraviu škodlivých látok pre človeka, ako sú aldehydy, kyseliny, ketóny, alkoholy, *trans* mastné kyseliny a akrylamid [21].

Počas smaženia je potravina ponorená do horúceho oleja, ktorý prenáša teplo konvenčnými prúdmi. Voda z povrchu potraviny sa postupne odparuje, čo umožňuje prienik oleja do jej štruktúry a vznik chrumkavej kôrky. Tento proces sprevádzajú rôzne chemické zmeny, ako karamelizácia cukru, želatinizácia škrobu, denaturácia proteínov, hydrolýza tukov a reakcie zhnednutia. Dochádza aj k fyzikálnym zmenám, napríklad k úprave viskozity oleja [22].

Viskozita vyjadruje schopnosť kvapaliny odolávať rozlievanie a je ovplyvnená viacerými faktormi. Zvyšuje sa procesom hydrogenácie a dlhodobým pôsobením vysokých teplôt, zatiaľ čo vyšší obsah nenasýtených mastných kyselín ju naopak znižuje. U mastných kyselín a triglyceridov závisí od dĺžky ich reťazca a stupňa nenasýtenia [22].

Bod zadymenia je kľúčovým ukazovateľom stability oleja pri vyprážaní a predstavuje teplotu, pri ktorej olej začína vytvárať dym. Po prekročení tejto teploty dochádza k rozkladu oleja na voľné mastné kyseliny a glycerol. Glycerol sa následne mení na akroleín, ktorý je hlavnou zložkou dymu. Tento proces vedie k zhoršeniu výživových vlastností oleja a negatívne ovplyvňuje jeho chuť. Bod zadymenia sa môže výrazne líšiť v závislosti od zdroja oleja a stupňa jeho rafinácie. Napríklad repkový olej má bod zadymenia 204 °C [19].

Bod topenia označuje teplotu, pri ktorej tuk prechádza z pevného do kvapalného skupenstva. Teplota topenia sa zvyšuje s rastúcou dĺžkou reťazca mastných kyselín, zatiaľ čo vyšší stupeň nenasýtenia ju naopak znižuje [22].

## 5 Zmeny kvality oleja pri smažení

Počas vyprážania dochádza k degradácii triacylglycerolov, čo vedie k strate výživovej hodnoty olejov a tvorbe nežiaducich pachov a chutí. Tento proces je ovplyvnený vysokou teplotou, stratou vody z potravín a prítomnosť vzduchu nad zohriatym olejom. Dlhodobé skladovanie oleja má taktiež prispievať k degradácii triacylglycerolov. Keďže sa olej vstrebáva do potravín a stáva sa súčasťou stravy, je nevyhnutné zabezpečiť, aby bol v dostatočne dobrom stave na bezpečné použitie [23].

Kvalita oleja na smažení sa hodnotí pomocou ukazovateľov, ako sú hodnota kyslosti, peroxidové číslo, p-anizidínové číslo a miera vychytávania voľných radikálov. Tieto parametre odrážajú mieru degradácie oleja a jeho antioxidačnú kapacitu počas vyprážania. Okrem toho medzi kritické faktory kvality patrí aj obsah živín a prítomnosť potenciálne škodlivých látok [21].

### 5.1 Číslo kyslosti

Metóda na stanovenie čísla kyslosti využíva acidobázickú titráciu s indikátorom alebo potenciometrickú titráciu [23]. Kyslosť oleja sa stanovuje titráciou mastných kyselín 0,1 M odmerným roztokom hydroxidu draselného. Číslo kyslosti vyjadruje množstvo miligramov hydroxidu draselného potrebného na neutralizáciu mastných kyselín v jednom grame oleja. V prípade rafinovaného a čistého jedlého oleja by nemala presiahnuť 0,6 mg KOH/ g oleja [22]. Teda, číslo kyslosti vyjadruje množstvo kyselín v prítomných v olejoch a tukoch. Vzťah pre výpočet:

$$\text{Číslo kyslosti} = \frac{(A - B) \cdot c \cdot M_{\text{KOH}}}{m_{\text{vz}}} \quad (1)$$

Kde:

A je objem titračného činidla v mililitroch

B je objem slepého pokusu v mililitroch

c je koncentrácia odmerného roztoku v mol/l

M je molárna hmotnosť KOH v g/mol

m je hmotnosť vzorku v gramoch [23].

## 5.2 Peroxidové číslo + dieny

Na stanovenie stupňa oxidácie potravín sa využíva viacero metód na detekciu oxidačných produktov lipidov. Tieto produkty sa delia na primárne a sekundárne a určujú sa buď priamymi alebo nepriamymi metódami. Priame metódy stanovujú samotné produkty oxidácie, zatiaľ čo nepriame sledujú jej dôsledky, ako sú senzorické zmeny alebo chorobné riziká. Medzi primárne oxidačné zlúčeniny patria peroxidy a hydroperoxidy, zatiaľ čo medzi sekundárne zlúčeniny sa radia aldehydy, alkoholy, ketóny, hydroxidové zlúčeniny a oligoméry. Primárne oxidačné produkty sa najčastejšie stanovujú pomocou peroxidového čísla, jódového čísla a merania konjugovaných diénov [24].

Peroxidové číslo je jedným z hlavných ukazovateľov kvality olejov a je jednou z najbežnejších metód stanovenia primárnych oxidačných produktov. Slúži ako indikátor oxidácie tukov a zhoršovania vlastností oleja. Je spätý s hydroperoxidmi a vyjadruje sa v miliekvivalentov na kilogram oleja, pričom tieto zlúčeniny oxidujú jodid draselný za štandardných podmienok [25]. Ich množstvo sa stanovuje titračne proti tiosíranu sodnému za prítomnosti jodidu draselného, pričom ako indikátor sa používa škrob [26]. Môže tiež slúžiť ako indikátor žltnutia pri hodnotení kvality tuku alebo oleja [22].

Žltnutie je zložitý súbor chemických reakcií, ktoré majú za príčinu zníženie počtu nenasýtených väzieb v reťazci mastných kyselín [23]. Môže nastať pri pôsobení vzduchu (oxidačne) alebo v dôsledku prítomnosti mikroorganizmov v oleji. Olej pri oxidačnom žltnutí absorbuje kyslík, čím vznikajú peroxidy [26]. Na priebeh týchto reakcií vplyvajú viaceré faktory, napríklad prítomnosť vzduchu, kovových iónov, teplota, peroxidy, svetlo a vlhkosť. Zároveň spôsobuje vznik degradačných produktov, napríklad alkoholy, ketóny, aldehydy a kyseliny [23].

Analýza konjugovaných diénov je autooxidačná reťazová reakcia prebiehajúca v polynenasýtených mastných kyselinách. Keď reaktívny kyslík, napríklad hydroxylový radikál, odštepuje atóm vodíka z PUFA, dochádza k presunu dvojitej väzby na susedný uhlík, čím sa vytvorí konjugovaný dién. Táto štruktúra stabilizuje molekulu.

V prítomnosti kyslíka sa peroxylový radikál PUFA prenáša na ďalšiu PUFA, čím dochádza k tvorbe hydroperoxidov s konjugovanou formou PUFA. Analýza konjugovaných diénov tak slúži na určenie oxidácie v jej počiatočných štádiách. Okrem toho sa na hodnotenie oxidácie lipidov využívajú aj p-anisidínové a tiobarbiturové číslo [24].

### **5.3 Jódové číslo**

Jódové číslo sa využíva na stanovenie stupňa nenasýtenosti tukov a olejov, pričom vyjadruje počet gramov jódu, ktoré sa môžu naviazať na 100 g vzorky. Pokles jódového čísla signalizuje zhoršenie kvality rastlinných olejov, čo súvisí s redukciou počtu dvojitých väzieb v dôsledku oxidačných procesov. Naopak, vyššia hodnota jódového čísla naznačuje vyšší stupeň nenasýtenosti oleja [27].

### **5.4 P-anisidinové číslo**

Obsah aldehydov v oleji udáva hodnota p-anisidínu a to hlavne 2,4-dienálov a 2-alkenálov. Tieto aldehydy sú sekundárne oxidačné produkty, ktoré vznikajú pri oxidácii lipidov [28]. P-anisidinové číslo závisí nielen od koncentrácie aldehydov vo vzorke, ale aj od ich molekulovej štruktúry. Príkladom môže byť aldehyd s dvojitou väzbou v reťazci, ktorá je konjugovaná s karbonylovou skupinou, vykazuje vyššiu absorpciu pri meranej vlnovej dĺžke ako deriváty nasýtených aldehydov. Z tohto dôvodu majú nenasýtené aldehydy vyššie hodnoty p-anisidinového čísla ako nasýtené aldehydy [29].

### **5.5 Tiobarbiturové číslo**

Kyselina 2-tiobarbiturová je známa svojou schopnosťou reagovať s karbonyovými zlúčeninami, ako sú aldehydy a ketóny. Reaguje aj s kyselinami, esterami, amidmi, cukrami a pyrimidínovými zlúčeninami. Jej hlavný význam súvisí najmä s hodnotením autooxidačného kazenía tukov a olejov. Hoci môže slúžiť ako všeobecné činidlo na detekciu aldehydov, jej hlavná úloha spočíva v monitorovaní autooxidácie tukov, známej ako žltnutie, čo je proces degradácie nenasýtených mastných kyselín.

Hodnota tiobarbiturovej kyseliny, podobne ako anizidínové číslo, odráža hladinu aldehydov v oxidovaných lipidoch a slúži ako indikátor sekundárnych oxidačných zmien. Aj keď sa stanovenie kyseliny tiobarbiturovej využíva v rôznych potravinách, pri vyprážaných výrobkoch nie je príliš spoľahlivé. Napriek tomu zostáva dôležitou metódou na sledovanie počiatočných fáz autooxidácie v rastlinných olejoch, mastiach a kuchynských tukoch [30].

### **5.6 Oligomérne lipidy**

Počas smaženia potravín dochádza k tvorbe oligomérených (oxidačných) produktov, ktoré vznikajú ako následok degradácie tukov. Najskôr sa tvoria peroxylové radikály, ktoré sú prechodnými produktmi, a následne z nich vznikajú oligomérne lipidy [31].

Okrem oxidačných zmien prebieha aj hydrolýza triacylglycerolov (TAG) vplyvom vlhkosti z potravín sa uvoľňujú voľné mastné kyseliny (FFA), monoacylglyceridy (MAG) a diacylglyceridy (DAG). Pri vysokých teplotách sú nenasýtené mastné kyseliny v glyceridoch náchylné na oxidáciu, čo vedie k vzniku oxidovaných glyceridových zlúčenín. Zároveň prebiehajú polymerizačné reakcie, pri ktorých sa tvoria dimérne a oligoméne triglyceridy. Vzhľadom na svoju vyššiu polaritu sa spolu s diacylglyceridmi a voľnými mastnými kyselinami označujú ako celkové polárne zlúčeniny (TPC).

Obsah celkových polárnych zlúčenín vo fritovacích olejoch slúži ako presný a spoľahlivý indikátor degradácie a využíva sa na hodnotenie kvality olejov počas smaženia [32].

## 6 Experimentálna časť

Cieľom experimentálnej časti je zistiť, ako sa mení kvalita repkového oleja pri smažení rastlinného a živočíšneho proteínu, a porovnať tieto vplyvy medzi sebou.

### 6.1 Príprava vzoriek

V rámci experimentálnej časti boli porovnané dve bielkoviny rozdielneho pôvodu. Ako zdroj živočíšnych bielkovín boli použité čerstvé kuracie medailonky z kuracích prs (Albert Česká republika, s.r.o., Praha) zatiaľ čo rastlinným zdrojom bolo použité Tofu natural (Albert Česká republika, s.r.o., Praha). Bielkovinové vzorky mali pri analýze hmotnosť 430,5 g.



Obr. 7 Použité bielkoviny na smaženie

Na smaženie bol použitý repkový olej Vita D'or (Lidl Česká republika v.o.s., Praha). Prebehli dokopy tri smaženia, pre každý typ bielkoviny aj pre kontrolný olej. Smaženie prebiehalo vždy na teflonovej panvici o priemere 22 cm pri teplote v rozmedzí 115-125 °C. Teplota bola kontrolovaná infračerveným teplomerom Testo 830-T1 (Testo s.r.o., Praha). Na každý cyklus, ktorý trval 41 minút sa použilo 250 ml repkového oleja, ktorý bol medzi jednotlivými cyklami uchovávaný pri izbovej teplote. Za rovnakých podmienok prebiehala tepelná úprava oleja bez pridania bielkovín. Po ukončení smaženia sa olej prelial do uzatvoriteľných tmavých nádob a vložil do chladničky na 24 hodín pre ďalšie stanovenia (Obr. 8-10).



*Obr. 8 smaženie kuracieho mäsa*



*Obr. 9 smaženie Tofu natural*



Obr. 10 vznik chrumkavej, zlatohnedej kôrky

## 6.2 Stanovenie peroxidového čísla

*Princíp:* Peroxidové číslo vyjadruje množstvo viazaného kyslíka v tukoch a olejoch vo forme hydroperoxidov. Stanovuje sa oxidáciou jodidu draselného v kyslom prostredí, pričom uvoľnený jód sa titruje roztokom tiosíranu sodného.

*Postup stanovenia:* Do 250ml Erlenmeyerovej banky boli navážené 3 g vzorky oleja, s presnosťou na 0,0001 g. Do banky sa pridalo 10 ml chloroformu, 15 ml ľadovej kyseliny octovej a 1 ml 30% roztoku jodidu draselného. Banka sa okamžite zazátkovala a po dobu jednej minúty sa premiešavala a ďalších 5 minút odložila do tmavého miesta. Následne sa pridalo 75 ml destilovanej vody, obsah v banke sa ešte raz dôkladne premiešal a pridala sa škrobový maz v podobe indikátora. Vylúčený jód sa titroval odmerným roztokom tiosíranu sodného o koncentrácii 0,01 M do odfarbenia indikátora. Stanovenie sa urobilo trikrát pre každý olej. Súčasne bola urobená aj slepá vzorka, pri ktorej sa použili rovnaké činidlá, avšak žiadna vzorka oleja. Hodnota peroxidového čísla sa vypočítala podľa rovnice 2.

$$\text{peroxidové číslo [mmol/kg]} = \frac{(V_1 - V_0) \cdot c \cdot 1000}{m_{vz}} \quad (2)$$

Kde:

$V_1$  je spotreba odmerného roztoku 0,01 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (v ml)

$V_0$  je spotreba odmerného roztoku 0,01 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  pri slepej vzorke (v ml)

$c$  je presná koncentrácia  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

$m_{vz}$  je hmotnosť vzorky v (g)

### 6.3 Stanovenie p-anisidinového čísla

*Princíp:* Vzorka oleja sa rozpustí v 2,2,4-trimetylpentáne (izooktáne), následne reaguje s p-anisidinovým činidlom v kyslom prostredí. Po 10 minútach reakcie sa zaznamená nárast absorbancie pri vlnovej dĺžke 350 nm pomocou UV-VIS spektrofotometra.

*Postup stanovenia:* Najskôr sa pripravilo p-anisidinové činidlo do 50ml odmernej banky s presnou navážkou 0,125 g p-anisidínu, ktorý sa rozpustil v ľadovej kyseline octovej a roztok bol doplnený po rysku.

Do 25ml odmernej banky sa odvážilo 0,8-0,9 g vzorky oleja s presnosťou na 0,0001 g a doplnilo sa izooktánom po rysku. Merala sa absorbanca tohto roztoku pri 350 nm, ako slepé pozadie bol použitý izooktán.

Následne sa do skúmavky odpipotovalo 5 ml pripraveného roztoku oleja a pridalo sa 1 ml p-anisidinového činidla. Po dôkladnom premiešaní sa zmes nechala 10 minút stáť v tme pri laboratórnej teplote. Rovnako bol pripravený aj slepý pokus s čistým izooktánom a p-anisidínom. Po uplynutí tejto doby sa postupne vzorky premiešali a preliali do čistej sklenenej kyvety o priemere 1 cm a zmerala sa ich absorbanca pri vlnovej dĺžke 350nm. Výsledná hodnota p-anisidinového čísla sa vypočítala podľa rovnice (3).

$$p - \text{anisidinové číslo} = \frac{25 \cdot (1,2 \cdot A - B)}{m_{vz}} \quad (3)$$

Kde:

A je absorbanca pri 350 nm po reakcii s p-anisidínom

B je absorbanca pri 350 nm roztoku oleja a izooktánom

$m_{vz}$  je navážka vzorku v (g)

### 6.4 Stanovenie obsahu konjugovaných diénov

Konjugované diény boli stanovené podľa metódy AOAC. Stanovované vzorky olejov, ktoré boli pripravené počas predchádzajúcej analýzy p-anisidinové čísla, boli zriedené desaťnásobne izooktánom. Meranie prebehlo pri absorbancii 233 nm pomocou UV-VIS spektrofotometra. Následne bola vypočítaná absorptivita podľa rovnice (4) . Celkový obsah konjugovaných diénov (C2) bol vypočítaný pomocou rovnice (5).

$$a = A/bc \quad (4)$$

Kde:

a je absorptivita

A je absorbanica

b je délka kyvety v cm

c je gram vzorky na jeden liter roztoku použitého k meraniu

$$C2 (\%) = 0,91 \cdot a \quad (5)$$

## 7 Výsledky a diskusia

Tabuľky 1–3 znázorňujú výsledky získané spracovaním nameraných hodnôt, pričom výsledky boli vypočítané na základe príslušných vzorcov uvedených v predchádzajúcej časti.

### 7.1 Peroxidové číslo

Čistá vzorka repkového oleja vykazovala najvyššiu hodnotu peroxidového čísla ( $2.99 \pm 0.07$  mmol/kg). Následne, druhá najvyššia hodnota bola po vyprážaní rastlinnej bielkoviny- tofu, ktorá sa mierne znížila na hodnotu ( $2.7 \pm 0.1$  mmol/kg). Najnižšiu hodnotu dosiahla vzorka po vyprážaní kuracieho mäsa ( $1.9 \pm 0,1$  mmol/kg) (Tab.1).

Vyššie peroxidové číslo naznačuje vyšší obsah primárnych oxidačných produktov, ako sú hydroperoxydy. Zníženie peroxidového čísla po vyprážaní môže byť spôsobené ich rozpadom na sekundárne produkty, ako sú aldehydy, ketóny, ktoré sú ďalej hodnotené nižšie pomocou p- anisidinového čísla. Bohužiaľ v tomto experimente sa tento predpoklad nepotvrdil. Olej po smažení kuracieho mäsa mal zároveň najnižšie p-anisidinové číslo.

Naopak, tofu vykazovalo peroxidové číslo podobné čistej vzorke repkového oleja, čo môže byť spôsobené pomalším rozkladom hydroperoxidov alebo prítomnosťou nenasýtených mastných kyselín, ktoré sú náchylnejšie na oxidáciu. Vysoký obsah vody v rastlinnej bielkovine mohol tiež prispieť k zvýšeniu oxidačnej aktivity.

Tabuľka 1 Priemerné hodnoty peroxidového čísla vzoriek ( $\pm$  smerodajná odchýlka)

Druh vzorky	Peroxidové číslo [mmol/kg]
Čistý olej	$2.99 \pm 0.07$
Olej po smažení kuracieho mäsa	$1.93 \pm 0.1$
Olej po smažení Tofu Natural	$2.72 \pm 0.1$

### 7.2 P-anisidinové číslo

Najvyššia hodnota p-anisidinového čísla bola zistená vo vzorke oleja po vyprážaní tofu ( $4.33 \pm 0,06$ ), nasledovala vzorka s čistým repkovým olejom ( $4 \pm 1$ ). Na záver najnižšiu hodnotu mala vzorka kuracieho mäsa ( $3.7 \pm 0,6$ ) (Tab.2). P-anisidinové číslo vyjadruje obsah sekundárnych oxidačných produktov – najmä aldehydov, ako sú 2,4-dienály a 2-alkenály, ktoré vznikajú rozkladom hydroperoxidov.

Vyššia hodnota v prípade tofu môže súvisieť s tým, že rastlinné bielkoviny viac podporujú oxidáciu oleja počas smaženia. Tento jav môže byť ovplyvnený štruktúrou tofu, vyšším

obsahom vody a rozdielnym priebehom Maillardových reakcií, ktoré prispievajú k tvorbe reaktívnych zlúčenín.

Tabuľka 2 Priemerné hodnoty *p*-anisidinového čísla vzoriek ( $\pm$  smerodajná odchýlka)

Druh vzorky	P – anisidinové číslo
Čistý olej	4.29 $\pm$ 1
Olej po smažení kuracieho mäsa	3.71 $\pm$ 0.6
Olej po smažení Tofu Natural	4.33 $\pm$ 0.06

### 7.3 Konjugované diény

Hodnoty konjugovaných diénov boli najvyššie vo vzorke po vyprážení tofu (3.6  $\pm$  0,2 %). Nasledovala hodnota čistého oleja (3.35  $\pm$  0,05 %) a najnižšia hodnota bola pri kuracom mäse (3,07  $\pm$  0,14 %) (Tab.3). Konjugované diény predstavujú ukazovatele počiatkovej oxidácie nenasýtených mastných kyselín.

Opäť sa potvrdil trend vyššieho oxidačného zaťaženia oleja po smažení tofu v porovnaní s kuracím mäsom. Tento rozdiel môže byť spôsobený odlišnou štruktúrou a zložením tukov a bielkovín u týchto dvoch typov potravín, čo ovplyvňuje priebeh oxidácie v oleji počas smaženia.

Tabuľka 3 Priemerné hodnoty konjugovaných diénov vzoriek ( $\pm$  smerodajná odchýlka)

Druh vzorky	Konjugované diény [%]
Čistý olej	3.35 $\pm$ 0.05
Olej po smažení kuracieho mäsa	3.07 $\pm$ 0.14
Olej po smažení Tofu Natural	3.56 $\pm$ 0.2

Z experimentu vyplýva, že po smažení kuracieho mäsa si olej zachoval lepšiu kvalitu v porovnaní s čistým olejom alebo olejom po smažení rastlinnej bielkoviny. V štúdiu Hu et al. [33] sa zistilo, že voda obsiahnutá vo vyprážanej matrici ovplyvňuje hydrolýzu tukov. Pri smažení kuracích pŕs bola zaznamenaná rýchlejšia hydrolýza lipidov, zatiaľ čo pri smažení zemiakových hranolčekov došlo k zvýšenej oxidácii lipidov. Nižší obsah sekundárnych produktov oxidácie tukov v oleji po smažení kuracieho mäsa môže súvisieť s ich vyššou absorpciou do štruktúry smaženej potraviny. Tento jav bol pozorovaný aj pri sledovaní

distribúcie malondialdehydu v smažiacom oleji a v smaženom produkte, kde boli vyššie koncentrácie zistené v oleji po smažení zemiakových hranolčekov v porovnaní s kuracími prsiami. U tých bol naopak zistený vyšší obsah malondialdehydu než u vzoriek zo zemiakov [34].

## ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo porovnať vplyv smaženia dvoch bielkovín na kvalitu repkového oleja. Jednou z nich bola rastlinná (tofu) a druhá živočíšna (kuracie mäso) bielkovina. Sledovali sa tri ukazovatele oxidácie oleja: peroxidové číslo, p-anisidinové číslo a obsah konjugovaných diénov.

Na základe výsledkov možno konštatovať, že rastlinná bielkovina (tofu) po smažení vykazovala najvyššiu mieru oxidácie, a to pri všetkých troch meraniach. Za vyššie hodnoty pri tofu môže niekoľko faktorov: jeho zloženie, rozdielna textúra od živočíšnej bielkoviny, alebo iná interakcia s olejom počas tepelnej úpravy. Tofu podľa výsledkov negatívnejšie ovplyvnila kvalitu oleja v porovnaní s kuracím mäsom.

Naopak, kuracie mäso po vyprážaní malo najnižšiu mieru oxidácie. Pri všetkých troch parametroch mala najnižšie hodnoty. V tomto experimente bola živočíšna bielkovina šetrnejšie k oleju počas vyprážania.

Kontrolná vzorka, v tomto prípade čistý repkový olej, vykazovala taktiež oxidačné zmeny počas tepelnej úpravy. Podľa výsledkov je možno preukázať, že aj bez prítomnosti bielkoviny či už živočíšnej alebo rastlinnej, je olej citlivý na tepelné spracovanie.

Záverom tejto práce je experimentálne potvrdené, že je dôležité dôkladne vybrať typ potraviny pri tepelnom spracovaní v oleji. Zároveň sa mení samotný olej a jeho kvalita nielen v dôsledku tepelnej úpravy, ale aj v závislosti od typu vyprážanej potraviny.

## POUŽITÉ ZDROJE

- [1]STORZ, M.A. What makes a plant-based diet? a review of current concepts and proposal for a standardized plant-based dietary intervention checklist. *European Journal of Clinical Nutrition* .2022, 76, 789–800. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41430-021-01023-z>.
- [2]HARGREAVES, S.M.; ROSENFELD, D.L.; MOREIRA, A.V.B. et al. Plant-based and vegetarian diets: an overview and definition of these dietary patterns. *European Journal of Nutrition*. **2023**, 62, 1109–1121. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00394-023-03086-z> .
- [3]KUDLOVÁ, E. Živiny potenciálně nedostatkové v rostlinné stravě a jejich možné rostlinné zdroje. *Výživa a potraviny*. **2022**, roč. 77, č. 2. Ústav hygieny a epidemiologie, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Praha. Dostupné také z: <https://www.vyzivaspol.cz/wp-content/uploads/2022/03/ziviny.pdf>.
- [4]SHAW, K.A.; ZELLO, G.A.; RODGERS, C.D. et al. Benefits of a plant-based diet and considerations for the athlete. *European Journal of Applied Physiology*. **2022**, 122, 1163–1178. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04902-w>.
- [5]EWY, M.W.; PATEL, A.; ABDELMAGID, M.G. et al. Plant-based diet: is it as good as an animal-based diet when it comes to protein?. *Current Nutrition Reports*.**2022**, 11, 337–346. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13668-022-00401-8>.
- [6]MAŁECKI, J.; MUSZYŃSKI, S.; SOŁOWIEJ, B.G. Proteins in food systems—bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities. *Polymers*. **2021**, 13, 2506. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13152506>.
- [7]Hertzler, S.R.; Lieblein-Boff, J.C.; Weiler, M.; Allgeier, C. Plant Proteins: Assessing their nutritional quality and effects on health and physical function. *Nutrients*.**2020**, 12, 3704. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12123704>
- [8]O'BRIEN, Richard D. *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications, Second Edition*. Online. CRC Press. 2003. s. 1. eISBN 9780429204586. Dostupne z: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780203483664/fats-oils-richard-brien> [cit. 2025-2-22].

- [9]DOSTÁLOVÁ, J. Tuky v potravinách a jejich nutriční hodnocení. *Interní medicína pro praxi* [online]. **2011**, roč. 13, č. 9, s. 347–349. Dostupné z <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2011/09/08.pdf> .
- [10]STRARUCH, L.; SEKRETÁR, S.; ŠAJBIDOR J. *Zborník vedeckých prác venovaný pamiatke zosnulého prof. Ing. Alexandra Dandára, DrSc.*. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Nakladateľstvo STU. **2012**. s. 8. ISBN 978-80-227-3696-1. Dostupné z <file:///C:/Users/slavn/OneDrive/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8D/bakalrka/slovenska%20kniha%20tuky.pdf>. [cit. 2025-2-22].
- [11]KOSTIK, Vesna; MEMETI, Shaban; BAUER, Biljana. Fatty acid composition of edible oils and fats. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, **2013**, č. 4, s. 112–116. DOI: <https://eprints.ugd.edu.mk/id/eprint/11460>.
- [12]AZZOUG, S.; MESKINE, D. Les acides gras trans (Trans-fatty acids). *Batna Journal of Medical Sciences*. 2019 , 6 (1), 15–17. DOI: <https://doi.org/10.48087/BJMS.ra.2019.6105>.
- [13]OTENG, AB.; KERSTEN S.; Mechanisms of action of trans fatty acids. *Advances in Nutrition*. **2020**, 11 (3), 697-708. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz125>.
- [14]MAJCHRZAK, T.; MARĆ, M.; WASIK, A. Understanding the early-stage release of volatile organic compounds from rapeseed oil during deep-frying of tubers by targeted and omics-inspired approaches using PTR-MS and gas chromatography. *Food Research International*. **2022**, 160, 111716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111716>.
- [15]HAN, P.; ZHANG, Q.; WANG, X.; ZHOU, P.; DONG, S.; ZHA, F. ZENG, M. Formation of advanced glycation end products in sturgeon patties affected by pan-fried and deep-fried conditions. *Food Research International*, **2022**, 162, 112105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112105>.
- [16] NAYAK, P.K. Physio-chemical changes during repeated frying of cooked oil. *Journal of Food Biochemistry*, **2015**, 40 (3). DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.12215> .
- [17]BERK, ZEKI. Food process engineering and technology (3rd Edition) - 24.2.1 Types of Frying. Elsevier, **2018**. Dostupné z <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011Q1KD1/food-process-engineering/types-of-frying>.

- [18] ABRANTE-PASCUAL, S.; NIEVA-ECHEVARRÍA, B.; GOICOCHEA-OSES, E. Vegetable oils and their use for frying: a review of their compositional differences and degradation. *Foods*. **2024**, *13*(24), 4186. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13244186> .
- [19] MAHMUDA, N.; ISLAM, J.; OYOMA, W.; ADEGOKE, S. C.; TAHERGORABIA, R. A review of different frying oils and oleogels as alternative frying media for fat-uptake reduction in deep-fat fried foods. *Heliyon*. **2023**, *9*(11), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21500>.
- [20] ANIOŁOWSKA, M.; ZAHRAN, H.; KITA, A. The effect of pan frying on thermooxidative stability of refined rapeseed oil and professional blend. *Journal of Food Science and Technology*. **2016**, *53*(1), 712-720. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2020-z> .
- [21] ZHOU, Z.; GAO, P.; ZHOU, Y.; WANG, X.; YIN, J.; ZHONG, W.; REANEY, M.J.T. Comparative analysis of frying performance: assessing stability, nutritional value, and safety of high-oleic rapeseed oils. *Foods*. **2024**, *13*, 2788. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13172788>.
- [22] ALHADITHI, HUSSEIN J. M.; KHASHAN, BILAL A.; MORGAB, MOHAMMED HEMED. Study of the physical and chemical properties and essential fatty acids of sunflower oil used for frying for a period of (1-5) hours. *Journal of Neonatal Surgery*. **2025**, *14*(1), 704-711. Dostupné z: <https://jneonatal surg.com/index.php/jns/article/view/1593/1579>.
- [23] ARICETTI, J.A.; TUBINO, M. A visual titration method for the determination of the acid number of oils and fats: a green alternative. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. **2012**, *89*, 2113–2115. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2111-1>.
- [24] ABEYRATHNE, E. D. N.S.; NAM, K; AHN, D.U. Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems. *Antioxidants*. **2021**, *10*. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10101587>.
- [25] KARDASH-STROCHKOVA, E.; Ya.I TUR'YAN ; I. KUSELMAN. Redoxpotentiometric determination of peroxide value in edible oils without titration. *Talanta* . **2001**, *54*(2), 411-416. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00649-4](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00649-4) .
- [26] AGUEBOR-OGIE, B.; EDOKHUME, P.; NWOSU, F. Evaluation of saponification value, iodine value, peroxide value and free fatty acid level of essential oil of cayenne pepper (*Capsicum annum*). *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* . **2020**, *5*(2),

z:[https://www.researchgate.net/publication/343631533\\_EVALUATION\\_OF\\_SAPONIFICATION\\_VALUE\\_IODINE\\_VALUE\\_PEROXIDE\\_VALUE\\_AND\\_FREE\\_FATTY\\_ACID\\_LEVEL\\_OF\\_ESSENTIAL\\_OIL\\_OF\\_CAYENNE\\_PEPPER\\_Capsicum\\_annuum](https://www.researchgate.net/publication/343631533_EVALUATION_OF_SAPONIFICATION_VALUE_IODINE_VALUE_PEROXIDE_VALUE_AND_FREE_FATTY_ACID_LEVEL_OF_ESSENTIAL_OIL_OF_CAYENNE_PEPPER_Capsicum_annuum).

- [27] CHEBET, J.; KINYANJUI, T.; CHEPLOGOI, P.K. Impact of frying on iodine value of vegetable oils before and after deep frying in different types of food in Kenya. *Journal of Scientific and Innovative Research*. **2016**, 5(5), 193-196. Dostupné z: [https://www.jsirjournal.com/Vol5\\_Issue5\\_08.pdf](https://www.jsirjournal.com/Vol5_Issue5_08.pdf).
- [28] TOMPKINS, C.; PERKINS, E. G. The evaluation of frying oils with the p-Anisidine value. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. **1999**, 76(8), 945-947. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0111-6>.
- [29] SKIERA, C.; STELIOPOULOS, P.; KUBALLA, T.; HOLZGRABE, U.; DIEHL, B.; <sup>1</sup>H NMR approach as an alternative to the classical panisidine value method. *European Food Research and Technology*. **2012**, 235, 1101–1105. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1841-5>.
- [30] GUILLÉN-SANS, R.; GUZMÁN-CHOZAS, M. The thiobarbituric acid (TBA) reaction in foods: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **1998**, 38(4), 315-350. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408699891274228>.
- [31] LEOPOLD, J.; PRABUTZKI, P.; ENGEL, K. M.; SCHILLER, J. From oxidized fatty acids to dimeric species: in vivo relevance, generation and methods of nalysis. *Molecules*. **2023**, 28(23), 7850. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28237850>.
- [32] LI, X.; LI, J.; WANG, Y.; CAO, P.; LIU, Y. Effects of frying oils' fatty acids profile on the formation of polar lipids components and their retention in French fries over deep-frying process. *Food Chemistry*. **2017**, 237, 98-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.100>.
- [33] HU, Q.; ZHANG, J.; XING, R.; HUANG, W.; ZHANG, T.; CHEN, Y. Comprehensive multiomics analysis reveals the effects of French fries and chicken breast meat frying on soybean oil. *Food Chemistry*, **2025**, 473, 143052. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143052>.
- [34] MA, L.; HE, Q.; QIU, Y.; LIU, H.; WU, J.; LIU, G.; BRENNAN, C.; BRENNAN, M. A.; ZHU, L. Food matrixes play a key role in the distribution of contaminants of lipid origin: A

case study of malondialdehyde formation in vegetable oils during deep-frying. *Food Chemistry*, **2021**, 347,129080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129080>.