

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**  
**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Změny tokolů ve smažicím médiu při přípravě  
bramborových hranolků**

**Diplomová práce**

**Bc. Marie Veselá**

**Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů**

**prof. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.**

**© 2024 ČZU v Praze**



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Změny tokolů ve smažicím médiu při přípravě bramborových hranolů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20.4.2024

-----  
Marie Veselá

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala paní prof. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D., která mi poskytla odborné rady, cenné připomínky a věnovala čas i trpělivost při zpracování mé diplomové práce. Zároveň děkuji paní Ing. Monice Sabolové, Ph.D., Ing. Sarvenaz Khalili Tilami, Ph.D., Kshitiz Pokhrel za odborné konzultace. Poděkování patří i mé rodině, přítelovi a přátelům za psychickou podporu a pomoc, kterou mi poskytovali nejen po dobu psaní této práce, ale i po dobu celého magisterského studia.

# Změny tokolů ve smažicím médiu při přípravě bramborových hranolků

## Souhrn

Na trhu se objevují fialové brambory a výrobky z nich, které mají vyšší obsah fenolových sloučenin. Cílem této práce bylo porovnat, jak degraduje smažicí médium za podmínek smažení fialových brambor oproti smažení tradičních žlutých brambor, a zda mají fenolové sloučeniny vliv inhibiči oxidace lipidů.

Pro analýzu byla vybrána žlutá odrůda brambor Princess a fialová Fleur Bleue. Připravené hranolky byly smaženy v řepkovém oleji 5x s odstupem 1 dne u obou odrůd za totožných podmínek 170 °C ve fritéze Nova 121. Olej byl mezitím ponechán za pokojové teploty do dalšího smažení. Čerstvě usmažené hranolky byly hodnoceny sensorickým profilem. Stabilita oleje byla testována Schaalovým testem. Změny tokoferolu a tokotrienolů v oleji byly stanoveny pomocí HPLC/FLD.

Z výsledků vyplynulo, že se lišily jednotlivé odrůdy brambor na hranolky mezi sebou v sensorickém hodnocení vzhledu, barvě, křupavosti, a intenzitě zvuků při skousnutí. Počet smažení byl nejsilnějším faktorem u hodnocení žluklosti. S přibývajícím smažením se zvyšovala intenzita pachuti u obou druhů hranolek. Hranolky z fialových brambor byly hůře přijímané oproti tradičním žlutým, na které jsme zvyklí. Indukční perioda se u oleje žlutých brambor zkracovala hned po 1. smažení, kdežto u fialových se nezačala zkracovat ani po 5. smažení v porovnání s nesmaženým vzorkem. Největší celkový relativní úbytek tokolů nastal u  $\alpha$ -tokoferolu (o 51,8 % u oleje po smažení fialových brambor a úbytek o 71,9 % u oleje po smažení brambor žlutých) a nejmenší úbytek byl u  $\delta$ -tokotrienolu po 5. smažení. Nesmažený olej obsahoval nejvyšší množství  $\gamma$ -tokoferolu (148,73–157,11 mg/kg) a hned za ním  $\alpha$ -tokoferolu (145,78–151,71 mg/kg). Po konci smažení zbylo v oleji fialových brambor 104,3 mg/kg  $\gamma$ -tokoferolu a 83,95 mg/kg  $\gamma$ -tokoferolu v případě brambor žlutých.

Bylo zjištěno, že při opakovaném smažení fialových brambor byla degradace tokoferolů a tokotrienolů pomalejší, a i celkový úbytek tokolů nižší než při smažení hranolků ze žlutých brambor, což může být díky vyššímu obsahu biologicky aktivních látek s antioxidačními účinky z fialových brambor.

**Klíčová slova:** vitamin E, tokoferoly, tokotrienoly, oleje, smažení, hranolky



# Changes of tocols in the frying medium during the preparation of French potatoes

## Summary

Purple potatoes and potato products with a higher content of phenolic compounds are appearing on the market. The aim of this work was to compare how the frying medium degrades under the conditions of frying purple potatoes compared to frying traditional yellow potatoes, and whether phenolic compounds have an effect on inhibiting lipid oxidation.

The yellow potato variety Princess and the purple variety Fleur Bleue were selected for analysis. The prepared fries were fried in rapeseed oil 5 times at 1 day intervals for both varieties under identical conditions at 170 °C in a Nova 121 fryer. The freshly fried fries were evaluated by sensory profile. The stability of the oil was tested by the Schaal test. Changes in tocopherol and tocotrienols in the oil were determined by HPLC/FLD.

The results showed that the different varieties of French fries differed from each other in sensory evaluation of appearance, color, crispness, and intensity of biting sounds. The number of fryings was the strongest factor for the yellowness rating. The intensity of aftertaste increased with increasing frying for both types of fries. The purple potato fries were less well accepted compared to the traditional yellow fries we are used to. The induction period for the oil yellow potatoes shortened after the 1st frying, whereas for the purple potatoes it did not start to shorten even after the 5th frying compared to the non-fried sample. The greatest overall relative loss of tocol occurred for  $\alpha$ -tocopherol (51.8% loss for the oil after frying of purple potatoes and 71.9% loss for the oil after frying of yellow potatoes) and the least loss was for  $\delta$ -tocotrienol after the 5th frying. The non-fried oil contained the highest amount of  $\gamma$ -tocopherol (148.73-157.11 mg/kg) followed by  $\alpha$ -tocopherol (145.78-151.71 mg/kg). At the end of frying, 104.3 mg/kg of  $\gamma$ -tocopherol remained in the oil of purple potatoes and 83.95 mg/kg of  $\gamma$ -tocopherol in the case of yellow potatoes.

It was found that the degradation of tocopherols and tocotrienols was slower and also the total loss of tocols was lower during repeated frying of purple potatoes than during frying of yellow potato fries, which may be due to the higher content of bioactive compounds with antioxidant effects from purple potatoes.

**Keywords:** vitamin E, tocopherols, tocotrienols, oils, frying, French fries





# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Smažení</b> .....	<b>13</b>
3.1.1.1 Akrylamid .....	14
3.1.1.2 Přenos tepla a hmoty při smažení .....	15
3.1.1.3 Příjem oleje potravinou .....	16
3.1.2 Chemické a fyzikální změny potencionálního média na smažení	16
3.1.2.1 Hydrolýza oleje .....	17
3.1.2.2 Oxidace oleje .....	17
3.1.2.3 Polymerace oleje .....	18
3.1.3 Mělké nebo kontaktní smažení .....	19
3.1.4 Hluboké a ponorné smažení .....	19
3.1.5 Řepkový olej .....	20
3.1.5.1 Oleje se zvýšeným obsahem olejové kyseliny .....	22
3.1.6 Živočišné tuky .....	23
<b>3.2 Brambory</b> .....	<b>23</b>
3.2.1 Výběr odrůdy brambor .....	24
3.2.2 Bramborové hranolky .....	25
3.2.3 Kvalita produktu a trvanlivost .....	25
<b>3.3 Vitamin E</b> .....	<b>26</b>
3.3.1 Nedostatek vitamínu E .....	26
3.3.2 Nadbytek vitamínu E .....	27
3.3.3 Absorpce vitamínu E .....	28
3.3.4 Mechanismus oxidace fenolových sloučenin .....	28
<b>3.4 Tokoferoly</b> .....	<b>28</b>
3.4.1 Alfa-tokoferol .....	31
<b>3.5 Tokotrienoly</b> .....	<b>31</b>
<b>3.6 Zpomalení žluknutí lipidů</b> .....	<b>32</b>
<b>3.7 Stanovení</b> .....	<b>33</b>
3.7.1 HPLC .....	33
3.7.2 Shallův test .....	35
3.7.3 Senzorické hodnocení .....	37
<b>4 Metodika</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1 Experiment I: Smažení</b> .....	<b>38</b>
4.1.1 Výběr surovin a smažicího média .....	38

4.1.2	Příprava vzorku .....	39
<b>4.2</b>	<b>Experiment II: Senzorická analýza .....</b>	<b>41</b>
4.2.1	Statistická analýza.....	41
<b>4.3</b>	<b>Experiment III: Schaalův test .....</b>	<b>41</b>
4.3.1	Příprava vzorku do kádinek.....	41
4.3.2	Sušení a vážení kádinek .....	41
4.3.3	Zpracování dat .....	41
<b>4.4</b>	<b>Experiment IV: HPLC .....</b>	<b>42</b>
4.4.1	Příprava mobilní fáze .....	42
4.4.2	Příprava vzorku pro analýzu.....	42
4.4.3	Stanovení tokoferolů .....	42
4.4.4	Statistická analýza.....	43
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>Experiment II: Senzorická analýza .....</b>	<b>44</b>
5.1.1	Statistická analýza.....	44
<b>5.2</b>	<b>Experiment III: Schaalův test .....</b>	<b>46</b>
5.2.1	Sušení a vážení kádinek .....	46
<b>5.3</b>	<b>Experiment IV: HPLC .....</b>	<b>48</b>
5.3.1	Stanovení tokoferolů .....	48
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>53</b>
<b>6.1</b>	<b>Experiment II: Senzorické hodnocení .....</b>	<b>53</b>
<b>6.2</b>	<b>Experiment III: Schaalův test .....</b>	<b>53</b>
<b>6.3</b>	<b>Experiment IV: HPLC .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>63</b>

# 1 ÚVOD

Smažení je jedním z nejpoblárnějších způsobů přípravy potravin po celém světě. Kromě vytváření lahodně křupavého povrchu je v poslední době snaha o zachování případně zlepšení nutričních hodnot a kvality potravin připravované právě touto kulinární úpravou. Bramborové hranolky, jakožto jeden z nejvíce vyhledávaných smažených pokrmů, se vyrábějí z různých odrůd brambor. Každá odrůda brambor má své specifické vlastnosti, které mohou ovlivnit proces smažení a kvalitu výsledného produktu. Nejtypičtější je výroba hranolek ze žlutých brambor, ale používají se například i fialové odrůdy, které obsahují zvýšené množství fenolových látek s antioxidačními účinky. Chemické složení a koncentrace tokolů významně ovlivňuje vhodnost média pro smažení.

Tokoly, nasycené formy vitamínu E, mají klíčový vliv na stabilitu a degradaci olejů během procesu smažení. Fialové brambory napomáhají inhibovat oxidaci lipidů a tím i degradaci olejů po opakovaném smažení (Ru et al., 2019).

Vzhledem k rostoucímu zájmu o zdravější stravovací návyky a potřebě optimalizace procesů v potravinářském průmyslu je důležité porozumět vlivu různých faktorů na stabilitu tokoferolů a tokotrienolů během smažení.

## **2 CÍL PRÁCE**

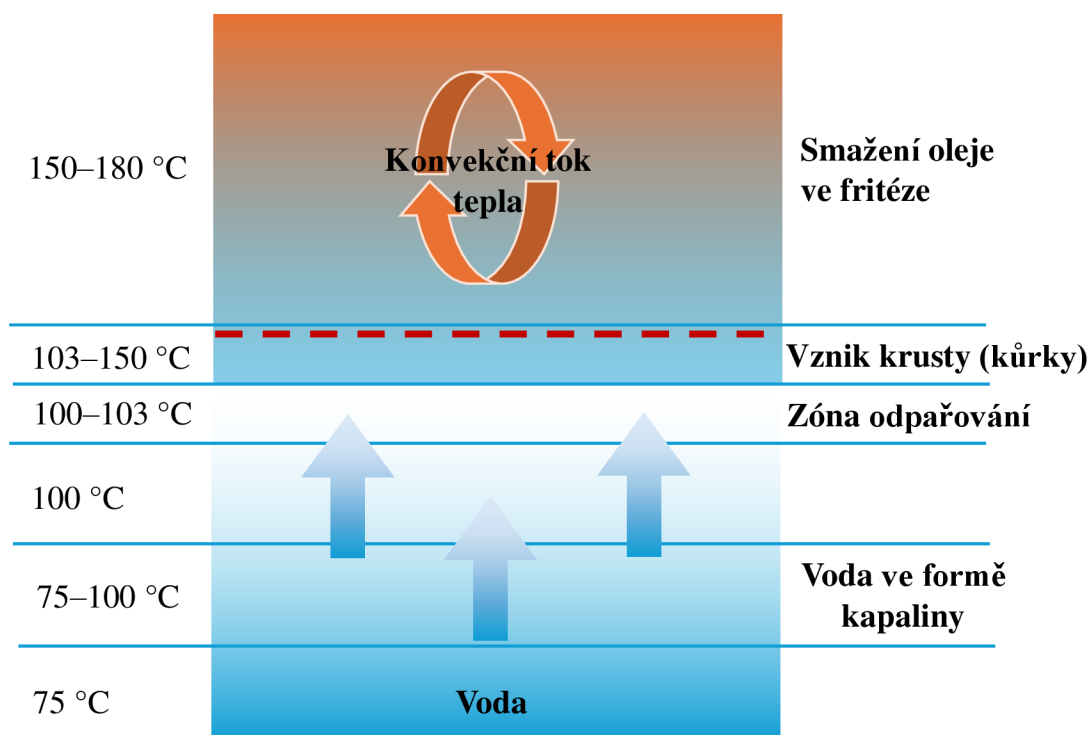
Cílem práce bylo porovnat úbytek jednotlivých tokolů při smažení bramborových hranolků v závislosti na odrůdě brambor a složení smažicího média.

Hypotézou práce bylo, že úbytek tokoferolů a tokotrienolů ve smažicím médiu závisí na odrůdě brambor a složení smažicího média.

## 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 Smažení

Smažení je metoda zpracování potravin, která je využívána pro svou snadnou a rychlou přípravu jídla, změnu sensorických vlastností a poměrně levnou formu úpravy pokrmů. Je to proces řady jevů probíhajících současně během celého procesu. Stručně dochází k přenosu tepla (Obrázek 1), vlhkosti a oleje mezi produktem a smažicím médiem. Vyšší teplotou varu, než je teplota varu vody, dochází k odpařování (Obrázek 1). Pro smažení se nejčastěji používá teplota 150–200 °C. Složení média se během procesu neustále mění, proto je důležité, abychom znali jeho vlastnosti a porozuměli změnám, ke kterým dochází. Jedině takto můžeme minimalizovat nežádoucí změny smažené potraviny i média (Oke et al., 2018). Konzervační účinek je způsoben tepelnou destrukcí mikroorganismů i snížením aktivity vody na povrchu. Změny, které budou při smažení probíhat závisí na vlastnostech potravin, typu a objemu použitého smažicího média, teplotě, délce smažení a druhu materiálu, z kterého je povrch smažicí nádoby vyroben (Gertz, 2014).



Obrázek 1: Schéma přenosu tepla a hmoty při fritování (Gertz, 2014)

Mnoho studií potvrzuje, že nežádoucí reakce při smažení se zvyšují s délkou a opakovaným používáním smažicího média. Proto mohou vznikat při dlouhodobém používání vysokých teplot a vystavení atmosférickému vzduchu oxidované

a potenciálně toxické produkty. Dochází tak k degradaci důležitých nutričních sloučenin a tvorbě karcinogenních molekul, jako je akrylamid v konečném produktu (Choe & Min, 2007; Gliszczyńska-Świgło et al., 2007; Habarakada et al., 2021; Kmiecik et al., 2020; Soukup et al., 2021).

### 3.1.1.1 Akrylamid

Podle nařízení Evropské komise (EU) 2017/2158 ze dne 20. listopadu 2017, které zmírňuje opatření a porovnává hodnoty pro snížení přítomnosti akrylamidu v potravinách, by neměla hodnota akrylamidu u hranolek určených k přímé spotřebě přesáhnout 500 µg/kg (Evropská komise, 2017).

Vědci zabývající se základy procesu smažení ve své studii zpracovali i tvorbu akrylamidu během fritování v různých druzích tuků a olejů (Tabulka 1). Bylo smaženo 40 g hranolků ve fritéze s kapacitou 2 litry oleje. Smažení trvalo 3,5 minuty u každého vzorku při 170 °C. Nejrychlejší nástup k dosažení teploty 100 °C měl palmový tuk a nejpomalejší podzemnicový – ztužený. Jako nejvhodnější z hlediska hladiny akrylamidu vychází olej řepkový, jelikož obsahoval 103 µg akrylamidu/kg hranolků. Naopak pro smažení není vhodný palmový tuk kvůli obsahu 594 µg akrylamidu/kg hranolků, který přesahuje limit z nařízení Evropské komise (Gertz, 2014).

*Tabulka 1: Tvorba akrylamidu během fritování v různých tucích a olejích (Gertz, 2014)*

<b>Typ smažicího média</b>	<b>Čas potřeby k dosažení 100 °C [s]</b>	<b>Hladina akrylamidu [µg/kg] hranolků</b>
Palmový tuk	65	594
Hovězí lůj	74	301
Slunečnicový olej	80	205
Řepkový olej	80	103
Podzemnicový olej	82	190
Podzemnicový olej – ztužený	84	192

Rozdílný obsah akrylamidu byl zaznamenán i u odlišných druhů čínských brambor (Tabulka 2). Za pomoci kapalinové chromatografie a hmotnostní spektrofotometrie byly zjištěny obsahy jednoduchých sacharidů a množství akrylamidu v čerstvých bramborách a hranolkách z nich vytvořených. Touto studií nebyla potvrzena hypotéza z některých literárních zdrojů, které uvádí, že existuje

přímá závislost mezi redukujícími sacharidy a vzniklým akrylamidem (Ehsani et al., 2018; Jaggan et al., 2020; Passos et al., 2018). Jeho kontaminace v hranolkách může být způsobena i řadou dalších faktorů, jako jsou: proces vaření, čas a teplota smažení, doba blanširování, odrůda brambor. Proto lze tvrdit, že redukující sacharidy jsou jednou z možností vzniku akrylamidu. K jejich redukci dochází nejen během blanširování, ale i v Maillardově reakci při smažení. Výsledky studie vypovídají, že existuje závislost mezi odrůdou brambor a vzniklým akrylamidem ve smažených hranolkách. I přes nejvyšší obsah akrylamidu byl vzorek Long shu No.10 shledán jako optimální odrůda z hlediska nejvyšších komplexních hodnot pro určení kvality smažených hranolků (Jaggan et al., 2020).

*Tabulka 2: Obsah jednoduchých sacharidů a akrylamidu u čerstvých brambor i z nich připravených hranolků*

Odrůda brambor	Množství sacharidů [mg/g]		Množství akrylamidu [µg/kg]	
	Čerstvé brambory	Hranolky	Čerstvé brambory	Hranolky
Zhuang shu No. 3	6,51 ± 0,02	0,46 ± 0,02	60,52 ± 0,65	266,07 ± 2,18
Long shu No. 10	0,69 ± 0,01	0,48 ± 0,01	84,76 ± 0,65	677,35 ± 5,03
Long shu No. 7	5,28 ± 0,01	0,58 ± 0,00	70,56 ± 2,16	547,88 ± 2,16
Long shu No. 6	12,17 ± 0,01	1,90 ± 0,01	55,36 ± 1,74	420,81 ± 3,62
Shepody	4,58 ± 0,00	2,13 ± 0,00	51,76 ± 0,28	212,39 ± 1,44

### 3.1.1.2 Přenos tepla a hmoty při smažení

Při vložení potraviny do předem rozeřátého horkého oleje se povrchová voda rychle odpařuje, způsobí vysychání povrchu a bublání, zvětšuje se kontaktní plocha olej-vzduch vyplněná bublinami (Obrázek 1). Rychlost přenosu tepla mezi olejem a vzduchem se zvyšuje, čímž se urychluje oxidační degradace oleje. Pokud je odpařování vody rychlejší než schopnost okolního oleje odstraňovat páru konvekcí, je v ten moment přenos tepla z oleje na povrch potraviny nulový (Gholamibozanjani et al., 2021). Bublání můžeme předejít nebo ho omezit snížením teploty oleje, zmenšením porce smažené potraviny nebo předsušením. S postupujícím časem smažení je intenzita probublávání méně a méně intenzivní, vytváří se „parní pokrývka“ nad povrchem oleje, která má ochrannou funkci proti oxidaci a zabraňuje tak kontaktu se vzduchem (Gertz, 2014).

Teplu se do potraviny dostává od povrchu do středu. Voda obsažená uvnitř produktu prostupuje ze středu radiálně směrem ven ke stěnám potraviny

tehdy, když teplota vnitřní části dosáhne bodu varu vody. Tím, jak prochází voda z vnitřku, dochází při smažení k ochlazení na vnější části, a tím by se jídlo nemělo připálit ani spálit. Když se teplota potravin, které se mají smažit, dostane ve vnitřní části k varu, vyvolá želatinaci škrobu a denaturaci bílkovin (Dash et al., 2022).

Vysušením vzniká porézní oblast (kůrka, krusta, ... atd.), která se zvětšuje tak dlouho, dokud voda migruje z centrální polohy potravině radiálně ven k povrchu (Gertz, 2014).

### 3.1.1.3 Příjem oleje potravinou

Během smažení potravina přijímá určité množství oleje. V rámci zlepšování zdravého životního stylu se doporučuje smažené výrobky nekonzumovat tak často a celkově snížit obsah oleje v potravinách (Touffet et al., 2020). Ze studií vyplývá, že příjem oleje nezávisí na teplotě smažení, ale na době, ztrátě vlhkosti, struktuře produktu (tloušťka, ...) či nasákavosti oleje smaženými potravinářskými výrobky (Alvarez et al., 2000). Například vlhkost lze ovlivnit předsušením při teplotě 70–75 °C, sušením vzduchem nebo vakuem, osmotickou dehydratací či blanšírováním. Během doby odpařování páry olej do potravině téměř neproniká, ale poté, co vyndáme smažený produkt z fritézy a začne chladnout, se olej ulpělý na povrchu začne vsakovat do pórů. Dalo by se očekávat, že vyšší absorpce oleje bude u potravin s většími póry, ale je tomu přesně naopak. Příjem oleje je vyšší u menších pórů (Gertz, 2014). Téměř 80 % celkově přijatého tuku se do potravině dostane až po vyndání z fritézy a během chladnutí (Yamsaengsung & Moreira, 2002).

### 3.1.2 Chemické a fyzikální změny potenciálního média na smažení

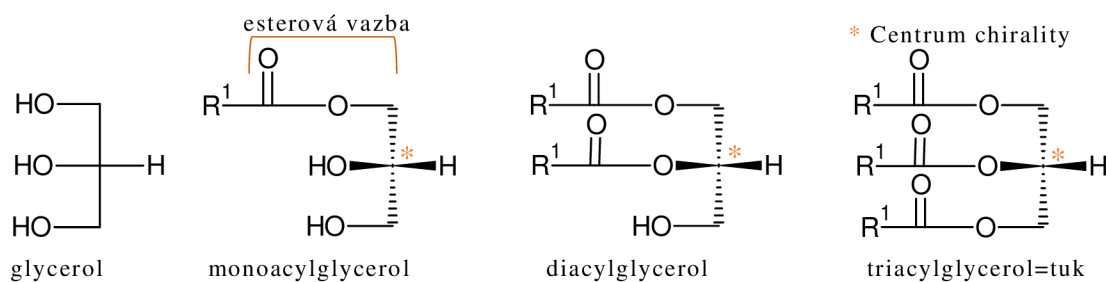
Jaké změny v chemických a fyzikálních vlastnostech nastanou při smažení u potravině závisí na složení oleje (struktura mastných kyselin, ...), způsobu smažení (mělké, hluboké, přerušované nebo kontinuální smažení), zvolené teplotě, době smažení a typu smaženého produktu (Habarakada et al., 2021). Důležité je zmínit, že neexistuje žádné smažicí médium, které by byl vhodné, ideální a univerzální pro všechny typy tepelných úprav a které by poskytovalo správnou chuť a přitažlivý vzhled a texturu (Xu et al., 2021). V minulosti se výběr řídil podle bodu zakouření, oxidační stability a nízkého obsahu volných mastných kyselin. Dnes jsou důležitým parametrem i dostupnost, cena a z nutričně fyzikálních vlastností: dobrá rovnováha mastných kyselin, nízký obsah trans mastných kyselin, absence alergenů a žádné GMO. Degradaci oleje za zvýšených teplot poznáme podle tmavnutí barvy, zvyšující se kyselosti, polymeraci triacylglycerolů, snižování jodového čísla nebo obsahu polyenových mastných kyselin. Kontrola tuků a olejů



určených na smažení by měla podléhat analýze obsahující testy na celkové polární materiály (hodnota by měla být <24 %) a polymerní triacylglyceroly (<12 %). K těmto stanovením potřebujeme laboratorní vybavení, a proto se s nimi u běžné interní kontroly kvality téměř nesetkáme. Běžně jsou ale na trhu dostupné i rychlotesty indikující polární materiály za pomoci dielektrické konstanty (Oke et al., 2018).

### 3.1.2.1 Hydrolýza oleje

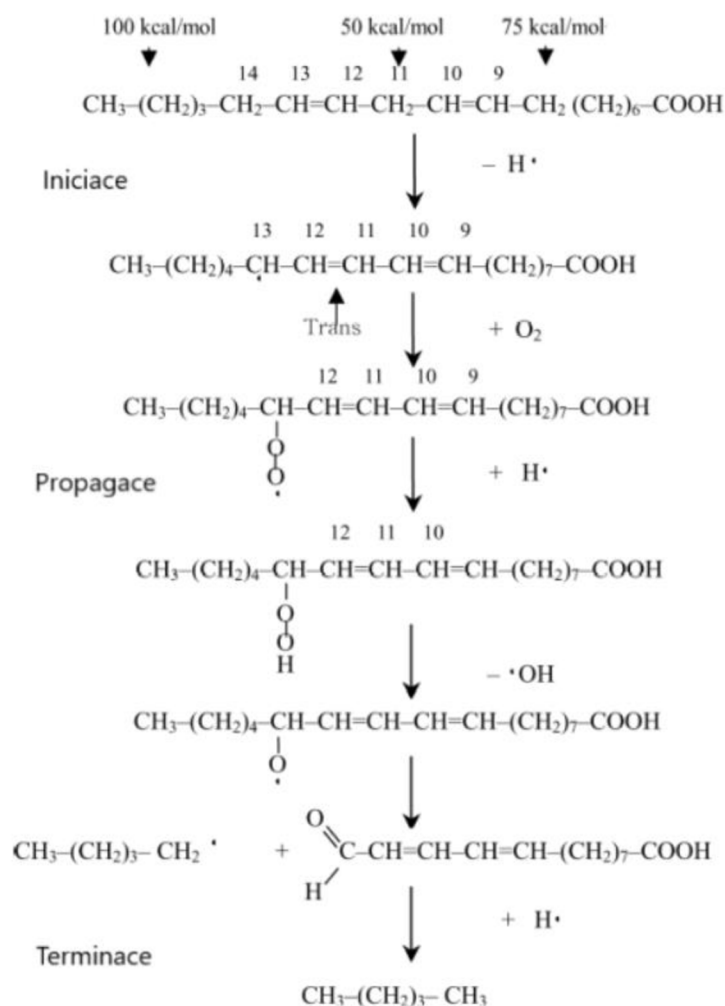
Pára vzniklá z vlhkosti při smažení postupně ustupuje. Voda je slabým nukleotidem, který rozkládá esterovou vazbu triacylglycerolů a vytváří z nich diacylglyceroly, monoacylglyceroly, glycerol a volné mastné kyseliny (Obrázek 2), jejichž počet se zvyšuje se zvyšujícím se počtem smažení. Proto se u kvality smažicího média sledují hodnoty volných mastných kyselin. Hydrolytické změny jsou tedy způsobeny lipázovými enzymy v přítomnosti vlhkosti (Oke et al., 2018).



Obrázek 2: Postupný rozklad triacylglycerolů

### 3.1.2.2 Oxidace oleje

Existují různé metody oxidace lipidů, včetně radikálového mechanismu známého jako autoxidace, mechanismu zprostředkovaného singletovým kyslíkem nazývaného fotooxidace a enzymatické oxidace katalyzované lipoxygenázami. Autoxidace vyžaduje počáteční aktivaci vodíkového atomu, což se často uskutečňuje při vysokých teplotách a v přítomnosti dvojných vazeb. Fotooxidace se spouští vysoce reaktivními singletovými formami kyslíku, které se vytvářejí excitací molekulárního kyslíku do tripletového stavu za přítomnosti světla a fotosenzibilizátorů. Základní chemický mechanismus tepelné (termální) oxidace je podobný mechanismu autoxidace, ale probíhá rychleji. Tepelná oxidace zahrnuje fáze iniciace (zahájení reakce), propagace (pokračování) a terminace (ukončení reakce), jak je znázorněno na obrázku 3 (Soukup et al., 2021).



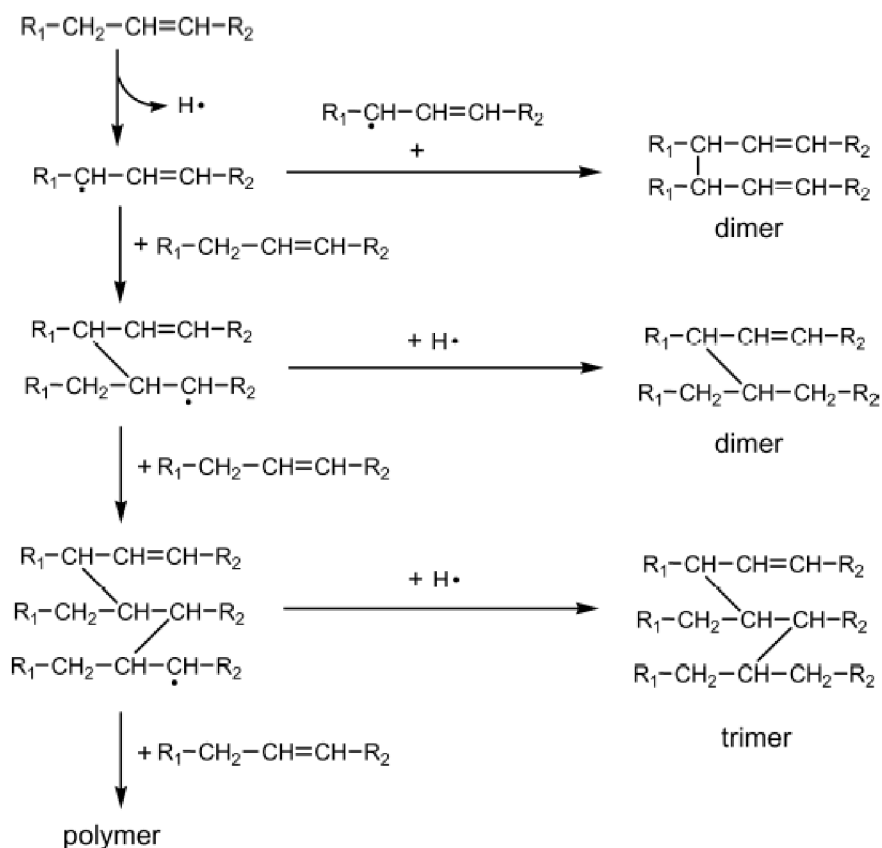
Obrázek 3: Inicijace, propagace a terminace při tepelné oxidaci oleje  
(Soukup et al., 2021)

Oxidační změny jsou rozhodně urychlovány zvyšováním teploty a přítomností světla. Jednou z možností, jak zabránit nebo zmírnit oxidační změny, je přidání syntetických a přírodních antioxidantů již do smažicích médií či konečných smažených produktů (Oke et al., 2018).

### 3.1.2.3 Polymerace oleje

Těkavé sloučeniny hrají klíčovou roli ve vlastnostech oleje na smažení a smažené potraviny. Jejich koncentrace v produktech rozkladu oleje jsou extrémně nízké, v řádech miliontin. Hlavními produkty rozkladu oleje při smažení jsou nepolární sloučeniny, dimery a polymery triacylglycerolů. Obsah cyklických sloučenin je většinou relativně nízký ve srovnání s nepolárními sloučeninami, dimery a polymery. Dimery a polymery mohou být buď acyklické nebo cyklické, v závislosti na reakčním procesu a druzích mastných kyselin obsažených v oleji. Dimerizace a polymerace při smažení jsou obvykle radikálové reakce. Vytváření

acyklických polymerů z olejové kyseliny během zahřívání je znázorněno na obrázku 4 (Choe & Min, 2007).



Obrázek 4: Tvorba acyklického polymeru z olejové kyseliny během smažení ve vysoké vrstvě (Choe & Min, 2007)

### 3.1.3 Mělké nebo kontaktní smažení

K mělkému a kontaktnímu smažení se nejčastěji používá pánev, kde je použito rozdílné množství smažicího média (většinou tenká vrstva). K přenosu tepla dochází pouze na spodní části potraviny. V závislosti na tloušťce smažicího média, nerovností na povrchu smažené potraviny dochází ke kolísání teplot a nepravidelnému hnědnutí. I přes vysoký koeficient přenosu tepla na povrch suroviny touto variantou smažení, může být nevýhodou nestabilní rozložení tepla po celém povrchu potraviny (Oke et al., 2018).

### 3.1.4 Hluboké a ponorné smažení

Při hlubokém a ponorném typu smažení je potravina obklopena po celou dobu smažicím médiem. Výhodou je v tomto případě rychlost, energetická efektivita, soudržnost vařeného produktu, žádaná chuť, barva i textura (Oke et al., 2018).

### 3.1.5 Řepkový olej

Díky svým zdravotním přínosům se zvyšuje poptávka po produktech rostlinného původu obsahujících vitamin E. Proto se vědci snaží stanovit obsah vitaminu E v rostlinných olejích s vysokou přidanou hodnotou. Uvádí se, že až 80 % populace v rozvojových zemích spoléhá na tradiční medicínu a rostlinné léky. Studie tvrdí, že biologická dostupnost přírodních forem tokoferolů je vyšší než u jejich syntetických protějšků. Důvodem může být obsah doprovodných látek v přírodních zdrojích, které mohou dostupnost zvyšovat (Aksoz et al., 2020). Z potvrzující studie, která sledovala účinky antioxidantů, vyplývá, že extrakty ze semen hroznů a granátového jablka měly lepší antioxidační účinky než syntetické antioxidanty (Schevey & Brewer, 2015).

V domácnostech je jedním z nejvíce používaných fritovacích médií řepkový olej. Doporučován je díky vysokému kouřovému bodu, nízké ceně (Tabulka 3), běžné dostupnosti v obchodech s potravinami i poměru MUFA:PUFA. Pro zlepšení postupu smažení je důležité vybírat oleje s optimálním poměrem nasycených mastných kyselin (SFA), monoenových mastných kyselin (MUFA) a polyenových mastných kyselin (PUFA), jejichž hladina by měla být nízká (Hosseini et al., 2016).

*Tabulka 3: Cena olejů a tuků na trhu/litr*

<b>Olej/tuk</b>	<b>cena</b>	<b>Bod zakouření</b>
<b>Řepkový olej</b>	45–146 Kč	220–230 °C
<b>Slunečnicový olej</b>	30–280 Kč	210 °C
<b>Olivový olej</b>	150–780 Kč	210–215 °C
<b>Palmový tuk</b>	70–170 Kč	230–260 °C
<b>Arašídový olej</b>	270–620 Kč	160–230 °C
<b>Kukuřičný olej</b>	122–600 Kč	160–230 °C

Vědci se zaměřili na měření těkavých frakcí před a po smažení brambor při 175 °C v extra panenském olivovém, arašídovém a řepkovém oleji, a to zvláště na aldehydy, jejichž charakter a tvorba jsou úzce spojeny s původním složením mastných kyselin (především linolenové kyseliny) (Tabulka 4). Analýza probíhala metodou HS–SPME/GC. Pečlivý rozbor těkavé frakce, zejména E,E-2,4-dekadialu umožnil identifikovat míru degradace a charakteristiky těchto tří olejů a poskytl informaci o jejich potenciální toxicitě při tepelném a oxidativním stresu: extra panenský olivový olej < řepkový olej < arašídový olej. Řepkový olej má nejvíce celkových PUFA (28,4 %). I přesto, že jsou všechny tři oleje doporučené

ke smažení, byly zjištěny významné statistické rozdíly mezi těkavými látkami těchto olejů, jak před, tak po smažení brambor, kvůli jejich nízkému obsahu polyenových mastných kyselin, který klesal (Molina-Garcia et al., 2017).

Tabulka 4: Složení mastných kyselin (%) extra panenského olivového, arašídového a řepkového oleje před a po smažení (Molina-Garcia et al., 2017)

		MUFA	PUFA	
		Olejová kyselina	Linolová kyselina	$\alpha$ -linolenová kyselina
<b>Extra panenská olivový olej</b>	<i>před</i>	70,71 ± 0,51	8,55 ± 0,03	0,80 ± 0,01
	<i>po</i>	70,92 ± 0,04	7,16 ± 0,03	0,57 ± 0,01
<b>Arašídový olej</b>	<i>před</i>	52,94 ± 0,02	25,51 ± 0,04	0,18 ± 0,00
	<i>po</i>	52,94 ± 0,02	22,73 ± 0,04	0,13 ± 0,00
<b>Řepkový olej</b>	<i>před</i>	57,85 ± 0,07	19,05 ± 0,01	9,28 ± 0,00
	<i>po</i>	59,39 ± 0,14	17,80 ± 0,08	7,85 ± 0,00

Výsledky z další studie zaznamenané v tabulce 5 se shodují s průměry předchozí studie. Navíc zde byly analyzovány i řepkové oleje v poměru 75:25 s jiným olejem (Tabulka 5). Tyto směsi ale nemají vhodnější vlastnosti jako smažicí medium čistého řepkového oleje, mimo kombinaci s palmový tukem, kde jde vidět zlepšení ve snížení PUFA. Za zvážení by stál řepkový olej s vysokým obsahem olejové kyseliny šlechtěním a hydrogenovaný řepkový olej, u kterých došlo k poklesu PUFA a navýšení MUFA (Hosseini et al., 2016; Petukhov et al., 1999).

Tabulka 5: Obsah MUFA a PUFA v řepkovém oleji a olejích na řepkovém základě s přidáním poměrem jiného oleje (Hosseini et al., 2016)

	MUFA	PUFA	
	Olejová kyselina	Linolová kyselina	$\alpha$ -linolenová kyselina
<b>Řepkový olej</b>	58,40	22,70	6,20
<b>Řepka s vysokým obsahem olejové kyseliny</b>	75,20	8,00	5,50
<b>Hydrogenovaný řepkový olej</b>	73,70	8,00	0,00
<b>Řepkový olej/palmový tuk (75:25)</b>	58,00	16,4	5,53
<b>Řepkový/olivový olej (75:25)</b>	62,90	18,48	6,00
<b>Řepkový/kukuřičný olej (75:25)</b>	53,57	28,74	5,85

V tabulce 6 jsou zaznamenané hodnoty obsahů  $\alpha$ -tokoferolu,  $\beta$ -tokoferolu,  $\gamma$ -tokoferolu a  $\delta$ -tokoferolu v řepkovém oleji z různých studií (Gliszczyńska-Świgło et al., 2007; Gogolewski et al., 2000; Kmiecik et al., 2020; Xie et al., 2021). Hodnoty se pohybují vcelku podobně až na studii od Fang et al. (2017).

Tabulka 6: Obsah tokoferolů [mg/kg] v řepkovém oleji

Tokoferoly řepkového oleje				Zdroj
$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	
211,8 ± 4,4	–	316,3 ± 9,9	12,0 ± 0,8	(Gogolewski et al., 2000)
178 ± 25	281 ± 13		12,0 ± 2,0	(Gliszczyńska-Świgło et al., 2007)
183 ± 36,2	21 ± 18,0	395 ± 23,4	40 ± 0,1	(Fang et al., 2017)
305,4 ± 4,6	1,4 ± 0,1	335,7 ± 4,7	6,7 ± 0,5	(Kmiecik et al., 2020)
103,4 ± 4,1	5,6 ± 4,3	249,3 ± 3,1	12,8 ± 5,9	(Xie et al., 2021)

### 3.1.5.1 Oleje se zvýšeným obsahem olejové kyseliny

Pro zvýšení oxidační stability oleje případně i výsledného produktu se mohou technologicky upravit rostlinné produkty tím, že zvýšíme obsah olejové kyseliny. Tím dojde k navýšení MUFA a snížení obsahu PUFA (Tabulka 7) (Hosseini et al., 2016; Wroniak et al., 2021; X. W. Chen et al., 2023; Zhang et al., 2023; Pasini et al., 2024). Takto vyšlechtěné odrůdy řepky či slunečnice pak poskytují oleje stabilnější vůči oxidaci nejen při skladování, ale hlavně při namáhání za vyšších teplot smažení. Snížením obsahu PUFA mají ale tyto oleje nižší obsah esenciálních mastných kyselin.

Tabulka 7: Obsah SFA, MUFA a PUFA [%] ve slunečnicovém (HOSO) a řepkovém (HORO) oleji se zvýšeným obsahem olejové kyseliny

	SFA	MUFA		PUFA	Zdroj
		Olejová kyselina	Linolová kyselina	$\alpha$ -linolenová kyselina	
HORO	6,43±0,06	80,31±0,06	13,26±0,01	1,09±0,01	(Zhang et al., 2023)
	6,24±0,01	78,43±1,06	8,71±0,11	2,92±0,11	(Wroniak et al., 2021)
HOSO	16,6±0,0	82,9±0,1	9,1±0,1	0,1±0,0	(Pasini et al., 2024)
	7,26±0,01	82,27±0,02	9,87±0,02	–	(X. W. Chen et al., 2023)
	8,1	84,6	4,5	0,4	(Hosseini et al., 2016)

### 3.1.6 Živočišné tuky

Vepřové sádlo má poměrně vysoký obsah nasycených mastných kyselin (SFA) a při tepelné úpravě je stabilnější v porovnání s nenasycenými oleji (Tabulka 8). Nemá zároveň moc přirozených antioxidantů, takže se hodí jako médium pro testování stability (Gi et al., 2004). Sádlo ve studii, kde bylo porovnáno se slunečnicovým olejem, vykazovalo stabilnější vůči oxidaci než rafinovaný slunečnicový olej s vysokým obsahem polyenových mastných kyselin (Soukup et al., 2021). Máslo má nižší obsah MUFA, vyšší obsah SFA a podobné množství PUFA než vepřové sádlo, ale cena je jednoznačně vyšší (Brassard et al., 2017; Livingstone et al., 2000). Ghí je vyráběno zahříváním živočišného másla, při kterém dochází k odstranění vody a bílkovin, tudíž zůstane čistý tuk. Odolává vysoké teplotní zátěži, a proto je vhodné pro kulinární úpravu smažení. (Derewiaka et al., 2011; Mohammadi Hosseinabadi & Nasrollahzadeh, 2022). Cenově se řadí mezi nejdražší smažicí média oproti vepřovému sádlu i máslu.

Tabulka 8: Hodnoty živočišných tuků na 1 kg hmoty

Olej/tuk	Vepřové sádlo	Máslo	Ghí
SFA	36 %	55–74 %	51–62 %
MUFA	48,3 %	25–30 %	30–81 %
PUFA	15,5 %	2–18 %	5 –8 %
Cena	88–160 Kč	200–270 Kč	220–350 Kč
Bod zakouření	190 °C	120–160 °C	250 °C

### 3.2 Brambory

Brambory jsou celosvětově velmi oblíbenou potravinou a jsou hned za kukuřicí, rýží a pšenicí i nejpoužívanější potravinářskou surovinou. Jsou dobrým zdrojem škrobu, vlákniny, vitamínů i minerálních látek. Přibližně 60 procent zpracovaných výrobků brambor jde na výrobu hranolek a jiných mražených produktů. Brambory jsou surovinou pro mnoho výrobků, ale hranolky jsou rozhodně jedny z nejoblíbenějších díky své charakteristické smažené barvě, chuti, vůni i struktuře (Ngobese & Workneh, 2018).

### 3.2.1 Výběr odrůdy brambor

Není brambora jako brambora. Každá odrůda má své senzoričké, nutriční a funkční vlastnosti. Obecně lze říct, že vhodným typem brambor pro výrobu hranolem jsou odrůdy varného typu B, BC nebo C se středním až vyšším obsahem škrobu. Nejen škrob obsažený v bramborách, ale i další složky jako jsou celulóza, hemicelulóza, pektin, polysacharidy a lignin, ovlivňují nutriční hodnoty a organoleptické vlastnosti, zejména texturu hranolek. Brambory se běžně skladují při teplotě 4–5 °C. U hlíz určených pro výrobu hranolků je skladovací teplota 7–9 °C. Je to z toho důvodu, abychom omezili tvorbu akrylamidu během vysokých teplot použitých při následném smažení. Docílíme toho tím, že při teplotě nad 7 °C dochází k rovnováze mezi prodýcháváním cukrů a jejich tvorbou, a proto se pak nehromadí. I přes zvýšenou teplotu oproti běžným podmínkám, se zabraňuje klíčení a tím i vysokých skladovacím ztrátám (Sýkorová, 2017).

Lilky brambor obsahuje nejen vitamin C, B6 draslík, fosfor, vápník, ale i různé jiné antioxidantní látky. Myšlené jsou tím fenolové sloučeniny – například fenolové kyseliny nebo flavonoidy (Ramadan & Oraby, 2016). Žlutá odrůda brambor Russet Burbank obsahovala v syrové formě 4,37 mg fenolové kyseliny/kg (Brown, 2005). Další zdroj uvádí, že žluté dužiny mají obsah fenolové kyseliny v rozmezí 0,6–3,94 mg/kg syrové váhy brambor (Hale, 2003). Celkových polyfenolů obsahují 1226–4405 mg/kg (Lachman et al., 2005).

Pro porovnání kultivarů brambor s bílou, žlutou, červenou a fialovou dužinou se studie zabývala testováním celkových fenolových látek, obsahem fenolových kyselin a antioxidantní aktivitou ve volné a vázané frakci brambor. Závěrem této práce bylo zjištění, že brambory s fialovou a červenou dužninou měly vyšší celkový obsah fenolových látek jak žluté a bílé (Tabulka 9). Tento obsah byl měřen pomocí kolorimetrické metody s Folin–Ciocalteuovým činidlem. Pro analýzu bylo použito 14 kultivarů brambor ze stejné farmy (odrůda: Helena 15, Haerbin 2, Hongyu, Heijinggang, ...) (Ru et al., 2019).

*Tabulka 9: Obsah fenolových látek vyjádřených jako ekvivalent gallové kyseliny mg/100 g bramborového prášku*

<b>Barva dužiny</b>	<b>Volná frakce</b>	<b>Vázaná frakce</b>
<b>Fialová a červená</b>	51,36–73,60	7,72–40,45
<b>Žlutá a bílá</b>	8,77–19,91	2,63–6,14



Všechny tyto vlastnosti může ovlivnit místo pěstování, roční klimatické podmínky, skladování, způsob přípravy pokrmu, ... atd. Proto se i na základě těchto faktorů snaží vědci pomocí šlechtění získat nejvhodnější odrůdu (Lachman et al., 2016).

### **3.2.2 Bramborové hranolky**

V supermarketu seženeme většinou průmyslově vyráběné hranolky, které se k spotřebiteli dostávají již před smažením v zamražené formě. Po oloupaní se vykrájí na požadovaný tvar, blanšírují, fritují a mrazí. Proto pro konečnou úpravu stačí dosmažit nebo dopéct v troubě. Takto předpřipravené bramborové hranolky obsahují 10 % tuku (Sýkorová, 2017). Smažením jsou zpracovávány potraviny rostlinného i živočišného původu. Na povrchu potraviny se ke konci smažení vytváří takzvaná křusta, která je jedním ze spotřebitelů vyhledávaných prvků smažených produktů (Rossell, 2001).

Díky vysokému nárůstu a riziku onemocnění, jako jsou obezita, vysoký krevní tlak a hladina cholesterolu, které souvisí s vysokým obsahem tuku v hranolkách, se v posledních letech studie zaměřují na produkci zdravějších hranolků. Před pár lety byla pozornost spíše věnována senzorické kvalitě, což dnes už neplatí, a je snaha zlepšovat i dopady na zdraví při konzumaci této potraviny (Jaggan et al., 2020).

### **3.2.3 Kvalita produktu a trvanlivost**

Jelikož se smažicí médium absorbuje do smažené potraviny, má vliv na senzorické vlastnosti výsledného produktu, které závisí na jeho kvalitě (Pedreschi, 2012). Sloučeniny, které vzniknou během fritování jsou přeneseny a absorbovány do takto připravovaného pokrmu. Když je médium, jakkoliv znehodnoceno, zobrazí se to i na kvalitě výrobku. Nejen že dochází k tvorbě nepříjemných pachů, ale v produktu vznikají i nežádoucí sloučeniny, které mohou způsobit některé zdravotní problémy.

Problematickou fází není jen samotné smažení, ale i skladování smažicího média, kde stále probíhají oxidační a hydrolytické změny, i když je reakční schopnost mnohem pomalejší. Hydrolytickému žluknutí při skladování lze předejít kontrolou podmínek už při zpracování. Je potřeba zajistit, aby se inaktivovaly enzymy a následně se zajistila stálá nízká vlhkost při skladování. Oxidačním změnám můžeme zabránit, když zamezíme přístupu kyslíku, světla, snížíme teplotu při uchování nebo přidáním antioxidantů (Oke et al., 2018). U olejů s vyšším

obsahem nenasycených mastných kyselin dochází k rychlejšímu žluknutí, a proto je důležité zajistit vyšší ochranu proti oxidaci (He et al., 2021).

Dalším nedostatkem může být snížení žádoucí křupavosti během skladování z důvodu absorpce vlhkosti. Zamezit tomu může obalový materiál nepropouštějící světlo s vhodně zvolenou atmosférou (např: inertní plyn – dusík). Jeho vliv může prodloužit trvanlivost produktu až na několik měsíců (Agarwal et al., 2021).

### **3.3 Vitamin E**

První vědecká zmínka o vitaminu E byla publikována v roce 1922 (Evans & ScottBishop, 1922). Vitamin E je lipofilní antioxidant, který je pro naše zdraví důležitý tím, že chrání mastné kyseliny před nežádoucí oxidací v našem organismu. Společně s protizánětlivými účinky má ochrannou funkci v prevenci proti kardiovaskulárním chorobám, rakovině, cukrovce, obezitě či Alzheimerově chorobě (Aksoz et al., 2020). Těchto účinku využívá dermatologie či kosmetický průmysl.

Tokoly a tokotrienoly tvoří základní strukturu vitaminu E a vykazují jeho aktivitu. Obsahují chromanové cykly s isoprenoidními postranními řetězci. Formy odvozené od tokolů s nasycenými řetězci nazýváme tokoferoly a s nenasycenými řetězci tokotrienoly. Liší se od sebe tedy třemi dvojnými vazbami ve fytylovém postranním řetězci tokotrienolu. Tokoferoly tyto vazby nemají. Obě skupiny mají alfa, beta, gama i delta uspořádání, které je definováno umístěním methylové skupiny v chromanovém kruhu (Velíšek et Hajšlová, 1999).

#### **3.3.1 Nedostatek vitaminu E**

Nedostatek vitamínu E není častým problémem společnosti. Projevy hypovitaminózy jsou mírné a ve většině případů nejsou navíc způsobeny nedostačeným obsahem tokoferolů ve stravě (Sabolová et al., 2023). Příznaky deficitu u člověka jsou neurologické poruchy (ataxie AVED), hemolytická anémie (zvýšený rozpad červených krvinek), abnormality svalů, mozku, jater a/nebo kosterní dřene, svalová slabost, hyporeflexie, zúžení zorného pole, tmavé skvrny v oku, pozitivní Babinskiho a/nebo Rombergův test a další projevy (EFSA, 2017; Etsuo & Kouichi, 2019). Vliv na proběhnutí reprodukčního cyklu EFSA potvrdila pouze na pokusu u zvířat, nikoliv u lidí (EFSA, 2017).

Neurologická porucha ATAXIE (Ataxia with Vitamin E Deficiency) se u pacientů projevuje progresivní periferní neuropatií, neobratností rukou, ztrátou schopnosti koordinovat tělo v prostoru a vymizením některých reflexů (Azzi, 2018). Nejčastější původ poruchy je geneticky podmíněná mutace  $\alpha$ -TTP ( $\alpha$ -tokoferolu transportního proteinu) (EFSA, 2017).

Příčinou deficitu vitamínu E je nejčastěji mimo genetickou poruchu ovlivňující  $\alpha$ -TTP i malabsorpce tuku a/nebo vitamínu E a energeticko-proteinová malnutrice. Porucha slinivky a jater snižující absorpci tuku nebo porucha buněk střevního traktu jsou nejčastějšími důvody malabsorpce vitamínu E (Sabolová et al., 2023).

Ukazatelem, zdali je organismus zásobován vitamínem E, je koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu v krevním séru. Doporučená denní dávka je odborníky stanovena na 30  $\mu\text{mol/l}$ , obvyklá hodnota se pohybuje okolo 23  $\mu\text{mol/l}$  a pakliže hodnota klesne pod 12  $\mu\text{mol}$  alfa-tokoferolu/l krevního séra nastávají zdravotní problémy spojené se zvýšeným rozpadem červených krvinek, anémií, větší náchylností k infekcím, opožděným vývojem a s negativními dopady na matku a dítě během těhotenství (Sabolová et al., 2023). Tyto příznaky se objevují u jedinců trpících onemocněními, které ovlivňují vstřebávání a distribuci vitamínu E (např. cystická fibróza nebo abetalipoproteinemie (dědičná porucha lipidového metabolismu)). Dalším důvodem může být nízký příjem vitamínu E ( $\alpha$ -tokoferolu) ze stravy (Zingg, 2019). Pacienti trpící ATAXIÍ mají obsah alfa-tokoferolu velice nízký, jedná se někdy i o méně jak 2,3  $\mu\text{mol/l}$  (EFSA, 2017).

Pro zjišťování reálného příjmu vitamínu E vědci společně s lékaři nejčastěji využívají dietárních průzkumů formou dotazníkových metod. Pacienti/respondenti vyplňují, jaké potraviny a pokrmy, v jakém množství, v jakém časovém období zkonzumovali a tyto výsledky jsou za pomoci tabulek typického složení potravin zpracovávány výpočtem (Clement et al., 2012). Další možností je použití analytické metody, během které je stanovován obsah tokoferolů v běžné porci kulinárně připravených pokrmů nebo v paralelní celodenní dietě. I přesto, že jsou obě metody zacíleny na stejnou věc, jejich výsledky se od sebe často liší, a to v některých případech až dvojnásobně. Pro přesnější výsledky se proto vědci či lékaři obracejí na metody stanovení tokoferolů v krvi, tukové tkáni nebo jejich metabolitů v moči (Sabolová et al., 2023).

Pro zvýšení hladiny vitamínu E je výrazně vhodnější konzumace potravin bohatých na tento vitamin (např. rostlinných olejů, ořechů či celozrnného pečiva) a/nebo kvalifikovaná fortifikace vhodných potravin (jako jsou například rafinované rostlinné oleje, margaríny nebo vejce) před volbou doplňků stravy, tento způsob zvyšování příjmu vitamínu E nemá obecně pozitivní efekt (Sabolová et al., 2023).

### **3.3.2 Nadbytek vitamínu E**

Ze studií vyplývá, že nadbytečný příjem vitamínu E je zbytečný, jelikož ho organismus nemůže syntetizovat nebo dostatečně zpracovávat (Azzi, 2018).

### 3.3.3 Absorpce vitamínu E

Proto, abychom měli nejefektivnější absorpci vitamínu E, je zapotřebí přítomnost tuku. Vědci se domnívají, že z běžné stravy jsme schopni přijmout cca 75 % vitamínu E. Poté, co se vitamin E vstřebá ve střevech, je začleněn do chylomikronů a následně transportován do jater. Chylomikrony jsou lipoproteinové částice o nízké hustotě, které vychází z jater a jsou distribuovány do tkání. Alfa-tokoferolový transferový protein preferenčně váže alfa-tokoferoly před jinými tokoferoly či tokotrienoly. Ty tokoferoly, které se nenaváží na  $\alpha$ -TTP, jsou v játrech katabolizovány jaterní  $\omega$ -hydroxylázou. Ta má silnější aktivitu katabolyzovat jiné tokoferoly než alfa-tokoferol. Z chemicky syntetizovaných forem alfa-tokoferolů bylo zjištěno, že pouze 2R-alfa-tokoferolové stereoizomery (tj. RRR-, RRS-, RSR-, RSS-) splňují lidské požadavky na vitamin. Zbylé 2S stereoizomery (tj. SSS-, SSR-, SRS-, SRR-) mají nízkou afinitu k  $\alpha$ -TTP a jsou rychle metabolizovány v játrech. Proto se za fyziologicky aktivní považuje pouze RRR-alfa-tokoferol (EFSA, 2017).

### 3.3.4 Mechanismus oxidace fenolových sloučenin

Antioxidanty inhibují oxidaci tím, že neutralizují volné radikály a reaktivní formy kyslíku, inaktivují peroxidy, vážou kovové ionty, snižují produkty sekundární oxidace a brání působení enzymů podporujících oxidaci. Různé mechanismy a rychlosti se podílejí na inhibičním účinku antioxidantů (Soukup et al., 2021). Fenolové látky v odrůdách fialových brambor s vyšší antioxidační aktivitou (v porovnání s odrůdami žlutých brambor) mohou být oxidovány různými způsoby v závislosti na jejich struktuře a okolních podmínkách. Obecný mechanismus oxidace fenolových látek zahrnuje několik kroků včetně prvotního předání elektronu z hydroxylové skupiny na fenolovém kruhu jinému reaktivnímu radikálu. Tímto tvoří fenolové sloučeniny radikál, který je může podstoupit další reakci včetně stabilizace na chinoidní strukturu (Zeb, 2020).

## 3.4 Tokoferoly

Tokoferoly, jakožto nasycenou formou vitamínu E kvůli svým jednoduchým vazbám, najdeme v buňkách bohatých na tuk, což mohou být tukové zásoby, cholesterol a lipoproteiny s nízkou hustotou (Aksoz et al., 2020). Některé studie uvádějí, že mimo antioxidační a protizánětlivé účinky také napomáhají interakcím mezi proteinem a membránou, transdukcí signálu a genové expresi (Zingg, 2019). Jsou široce rozšířeny ve vyšších rostlinách a výrobcích z nich (např.: jedlých olejích) (Etsuo & Kouichi, 2019). V jedlých olejích se obvykle vyskytují  $\alpha$ - a  $\gamma$ -

tokoferol v relativně vysokých koncentracích, zatímco  $\beta$ -tokoferol a  $\delta$ -tokoferol se vyskytují pouze ve stopových množstvích (Xie et al., 2021).

Jak již bylo výše zmíněno, pouze u RRR- $\alpha$ -tokoferolu prokázáno, že chrání lidské tělo před onemocněními způsobeným, pakliže není jeho přítomnost v dostatečném množství, a tak se mu říká vitamin. U ostatní tokoferolů nejsou studii na lidech potvrzeny jejich schopnosti předcházet avitaminóze. Proto je nelze považovat za „vitamery“ nebo jiné formy vitamínu E pro lidi, jak se často uvádí. Milně je beta-, gama-, delta-tokoferolům připisována vitaminová funkce u prevence neurologických onemocnění postihující lidi. Je možné, že toto tvrzení vychází ze studií na ochranu plodu u potkanů, kde se tato hypotéza potvrdila (Azzi, 2018).

Ve studii, kde bylo 41 vzorků rostlinného původu měřeno vysokoučinnou kapalinovou chromatografií, bylo rozpětí obsahu celkových tokoferolů od 11,4 do 3483,4 mg/kg (Tabulka 10). Největší celkový obsah tokoferolů měl olej ze semen granátového jablka a hned za ním olej z pšeničných klíčků. Nejmenší obsah byl v koriandrovém oleji (Aksoz et al., 2020). Obsahem tokoferolů se různé odrůdy granátového jablka od sebe lišily. Studie zabývající se semeny granátových jablek vyhodnotila rozpětí 678–2 627  $\mu\text{g}$  tokoferolů/g. Tyto odlišnosti mohou být způsobeny genotypovou rozmanitostí, jiným způsobem pěstování či rozdílným okolním prostředím (Verardo et al., 2014). Stejně tak tomu je u studií olejů z pšeničných klíčků ale ne v tak velkém rozpětí (1300–2700 mg/kg) (Gunstone et al., 2007).

*Tabulka 10: Koncentrace tokoferolu v rostlinných olejích v mg/kg*

<b>Potravina</b>	<b><math>\alpha</math> tokoferol [mg/kg]</b>	<b><math>\beta + \gamma</math> tokoferol [mg/kg]</b>	<b><math>\delta</math> tokoferol [mg/kg]</b>	<b>Celkový obsah tokoferolů [mg/kg]</b>
Olej ze semen granátového jablka	48,2	3 328,0	107,2	3 483,4
Olej z pšeničných klíčků	2 204,4	888,5	24,6	3 117,5
Olej z fíkových semínek	814,8	585,5	–	1 400,2
Slunečnicový olej	556,8	14,3	7,0	585,8
Olej z broskvových semen	12,3	9,1	–	21,4
Koriandrový olej	4,7	6,7	–	11,4

Největší obsah  $\alpha$ -tokoferolu a  $\beta$ -tokoferolu ve studii na v jedlých olejích obsahoval olej z pšeničných klíčků (Tabulka 11), naopak nejmenší obsah měl sójový olej, i přesto, že obsahoval nejvíce  $\gamma$ -tokoferolu a  $\delta$ -tokoferolu (Etsuo & Kouichi, 2019).

Tabulka 11: Obsah tokoferolů v jedlých olejích (Etsuo & Kouichi, 2019)

<b>Potravina</b>	<b><math>\alpha</math> tokoferol</b> [mg/kg]	<b><math>\beta</math> tokoferol</b> [mg/kg]	<b><math>\gamma</math> tokoferol</b> [mg/kg]	<b><math>\delta</math> tokoferol</b> [mg/kg]
Kukuřičný olej	180–250	10	440–750	20–30
Olivový olej	110–170	<10	<10	<10
Řepkový olej	180–240	<10	370–510	<10
Sójový olej	90–120	10	610–690	230–260
Slunečnicový olej	320–590	0–20	10–40	<10
Olej z rýžových otrub	10–150	0–20	0–80	0–20
Olej z pšeničných klíčků	1 510–1 920	310–650	0–520	<10

Za použití hluboké mikroextrace v kapalně fázi na bázi rozpouštědla spojené s vysokoučinnou kapalinovou chromatografií na reverzní fázi byly stanovovány tokoferoly v jedlých olejích (Tabulka 12). Popis hluboké eutektické mikroextrace v kapalně fázi na bázi rozpouštědla je popsán v 3.7.1 HPLC. Výsledky použitou metodou naznačily, že tokoferoly s dlouhým řetězcem jsou extrahovány snáze. Průměrný nejvyšší obsah všech tokoferolů měl řepkový olej a nejméně pak olivový olej (Xie et al., 2021).

Tabulka 12: Obsah tokoferolů v jedlých olejích (Xie et al., 2021)

<b>Potravina</b>	<b><math>\alpha</math> tokoferol</b> [mg/kg]	<b><math>\beta</math> tokoferol</b> [mg/kg]	<b><math>\gamma</math> tokoferol</b> [mg/kg]	<b><math>\delta</math> tokoferol</b> [mg/kg]
Arašídový olej	91,5 ± 5,4	8,6 ± 5,6	87,1 ± 4,1	10,1 ± 5,1
Kukuřičný olej	113 ± 3,9	3,8 ± 6,5	191,5 ± 2,5	16,4 ± 6,3
Řepkový olej	103,4 ± 4,1	5,6 ± 4,3	249,3 ± 3,1	12,8 ± 5,9
Olivový olej	109,4 ± 5,3	2,2 ± 5,4	20,6 ± 6,3	3,6 ± 6,6



potenciál v lidském těle, což je způsobeno jejich antioxidačními vlastnostmi, protinádorovými a neuroprotektivními účinky a ochranou před aterosklerózou. Také byla zjištěna jejich úloha v buněčné signalizaci (Gruszka & Kruk, 2007).

Tabulka 14: Obsah tokotrienolů v rostlinných olejích v [mg/kg]

Olej	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	Zdroj
Palmový tuk	25,0±1,5	2,0±0,4	37,0±5,8	7,6±1,1	(Siger & Górnaš, 2023)
	20,7±11,2	1,0±1,0	23,0±3,6	3,2±1,4	
Rýžový olej	23,6	–	29,7	8,0	(Packer et al., 2001)
	77,6	99,9	–	–	(Gruszka & Kruk, 2007)
Řepkový olej	–	2,2	–	–	
Kukuřičný olej	11,4	11,7	–	1,2	
Olej z ječných otrub	161,4±25,7	42,9±7,6	27,4±5,4	4,2±0,9	(Siger & Górnaš, 2023)
Olej z pšeničných otrub	74,2±16,4	166,5±22,6	0,2±0,1	0,4±0,3	
Řepkový olej	–	–	–	–	(Schwartz et al., 2008)

### 3.6 Zpomalení žluknutí lipidů

Světlo, teplota, přístup kyslíku, některé kovy, antioxidanty, skladování, podmínky pěstování, bioklimatické podmínky, ...atd. mají vliv na případné zpomalení degradace lipidů v důsledku jejich žluknutí. Dalším dobrým zdrojem pro antioxidační, antimikrobiální i protizánětlivou aktivitu je přidání různých bylinných extraktů do smažicích médií. Příkladem mohou být sloučeniny jako jsou mentol, linalool, farnesol, eugenol a karvon obsažené v mátové, skořicové, heřmánkové či kmínové silici. Tyto silice jsou používány za účelem prodloužení trvanlivosti produktů a zvýšení kvality i bezpečnosti potravin. Jejich terpeny a aromaticky těkavé sloučeniny zajišťují bezpečnost potravin, aniž by jakkoli ovlivňovaly jejich kvalitu (Bhavaniramy et al., 2019). Příkladem je i studie, která používala k řepkovému oleji rozmarýnový extrakt a askorbylpalmitát. Obě tyto příměsi zvýšily stabilitu, obsah  $\alpha$ -tokoferolu,  $\beta$ -tokoferolu a  $\gamma$ -tokoferolu téměř o polovinu oproti čistému řepkovému oleji (Gordon & Kourimská, 1995).



## 3.7 Stanovení

### 3.7.1 HPLC

Pro stanovení tokoferolů v jedlých olejích byly a jsou používány různé analytické techniky, jako jsou: plynová chromatografie, kapalinová chromatografie na normální i reverzní fází spojená s UV detektorem, detektorem diodového pole, fluorescenčním detektorem, či hmotnostní spektrometrem. Vysokou účinná kapalinová chromatografie se ale osvědčila svou nabídkou poměrně efektivní separace homologů tokoferolu. Obvykle se v tomto případě používá pro ředění vzorku hexan nebo heptan. HPLC s reverzní fází (RP-HPLC) je upřednostňována před HPLC s fází normální (NP-HPLC) kvůli reprodukovatelnosti retenčních časů, nižší spotřebě organických rozpouštědel a dobré stabilitě stacionárních fází v koloně. Další zmíněnou metodou ve studii byla hluboká eutektická mikroextrakce v kapalně fázi na bázi rozpouštědla (Xie et al., 2021).

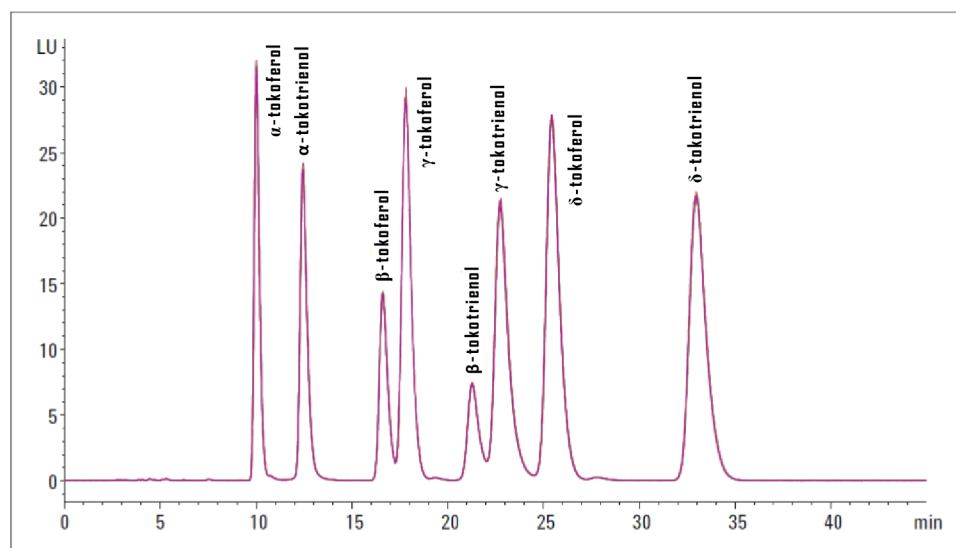
Hluboká eutektická mikroextrakce v kapalně fázi na bázi rozpouštědla umožňuje smíchání vzorku s eutektickou směsí, vytvoření tak homogenního roztoku, který je poté extrahován s rozpouštědlem, čímž dochází k extrakci cílových sloučenin z původního vzorku. Jedná se o efektivní, snadnou, šetrnou a levnou metodu extrakce, která umožňuje získání cílových sloučenin s minimální ztrátou nebo poškozením životního prostředí. Kombinace mikroextrakce a HPLC umožňuje analýzu jak všech typů tokoferolů, ale i tokotrienolů v různých jedlých olejích (Xie et al., 2021).

Výsledky obsahu tokolů ze studie zabývající se charakterizací tokoferolů, tokotrienolů a celkových karotenoidů ve smažených hranolkách jsou v tabulce 15. Smažení probíhalo při teplotě 170 °C. Pro analýzu byla použita HPLC s mobilní fází hexan : ethylacetát : octová kyselina (97,3:1,8:0,9) – Varian Prostar s vybavením: fotodiodový detektor, autosampler Varian – model 410, kolona Luna ® 5 µm silica (2) LC a předkolona – Phenomenex. Kvalita fritování se lišila v závislosti na použitém oleji: nejlepší výsledky byly dosaženy při použití směsi obou olejů v poměru 1:1, následované použitím surového palmového tuku, a poté rafinovaného řepkového oleje. Hranolky smažené v řepkovém oleji a směsi obou olejů absorbovaly méně oleje a byly bohatší na karotenoidy a vitamín E (Mba et al., 2018).

Tabulka 15: Průměrné procentuální zastoupení tokolů [%] v palmovém tuku, rafinovaném řepkovém oleji a jejich směsích

Potravina	Palmový tuk	Řepkový olej	Směs řepkového oleje a palmového tuku (1:1)
<b>α-tokoferol</b>	3,2	2,9	3,7
<b>β-tokoferol</b>	–	–	–
<b>γ-tokoferol</b>	14,9	14,6	15,6
<b>δ-tokoferol</b>	16,2	–	–
<b>α-tokotrienol</b>	49,1	–	55,9
<b>β-tokotrienol</b>	–	–	–
<b>γ-tokotrienol</b>	41,6	–	50,9
<b>δ-tokotrienol</b>	16,8	–	–
<b>CELKEM</b>	<b>141,8</b>	<b>17,5</b>	<b>180,9</b>

Pro analýzu tokofenolů a tokotrienolů s nejvyšší přesností retence a plochy se doporučuje využívat systém Agilent 1260 Infinity Bio-inert Quaternary LC. S tímto bioinertním systémem bylo dosaženo až desetinásobného zlepšení přesnosti retence času a podobného zlepšení přesnosti plochy. V kombinaci s kapalinovou chromatografií na normální fázi s heptanem byla dosažena výborná linearita pro všech osmi izomerů vitamínu E (Obrázek 6), s limity detekce a kvantifikace na nízké úrovni  $\mu\text{g/ml}$ . Obsah tokoferolů a tokotrienolů v devíti vzorcích olivového oleje byl zjištěn v rozmezí 100 až 390 mg/kg u  $\alpha$ -tokoferolu (Tabulka 16). Mezi částečně rafinovanými a panenskými olivovými oleji nebyly pozorovány významné rozdíly v obsahu vitamínu E (Schneider, 2014).



Obrázek 6: Znázornění všech separovaných izomerů vitamínu E na kvartérním LC systému Agilent Infinity Bio-inert (Schneider, 2014)

Tabulka 16: Obsah vitamínu E v devíti analyzovaných vzorcích olejů (Schneider, 2014)

Olivový olej	#1 mg/kg	#2 mg/kg	#3 mg/kg	#4 mg/kg	#5 mg/kg	#6 mg/kg	#7 mg/kg	#8 mg/kg	#9 mg/kg
α-tokoferol	389.7	315.8	179.8	152.1	109.8	168.2	98.9	114.2	337.3
β-tokoferol	5.4	3.5	2.5	2.0	3.8	3.0	2.7	2.6	4.3
γ-tokoferol	9.1	11.8	12.1	6.6	5.8	9.2	12.0	1.8	4.1
β-tokotrienol	12.3	5.8	5.3	4.8	3.6	4.9	4.2	5.8	13.3
δ-tokoferol	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-

#3 = částečně rafinovaný olivový olej

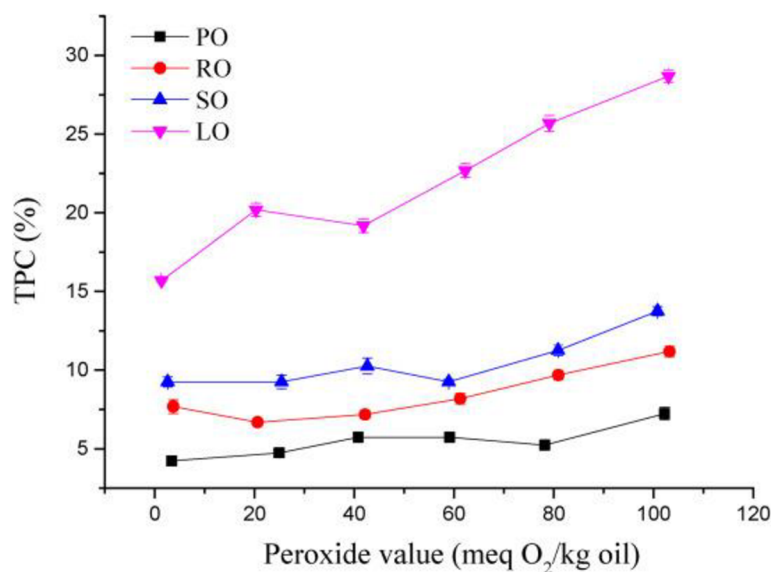
#1, #2, #4, #5, #6, #7, #8 = panenské olivové oleje

### 3.7.2 Schaalův test

Schaalův test je považován za jeden z nejspolehlivějších testů pro určení stability oleje. Slouží k posouzení, jak dobře je olej odolný vůči oxidaci a termickému rozkladu za vyšších teplot. Tímto způsobem můžeme zjistit, jak dlouho může olej zůstat stabilní nejen při skladování, ale i při vaření či smažení předtím, než začne produkovat nežádoucí či škodlivé látky, jako jsou volné mastné kyseliny nebo toxické sloučeniny (Maszewska et al., 2018). Dobrým ukazatelem díky přesnosti a reprodukovatelnosti je i množství celkových polárních sloučenin, které slouží pro hodnocení kvality oleje na smažení (J. Chen et al., 2018). Některé

evropské země se shodly a zavedly předpisy o maximálním množství celkových polárních sloučenin (TPC) na 24–27 %. Pakliže je tato hodnota přesažena, fritovací médium by mělo být vyřazeno (Li et al., 2016). Největší nárůst celkových polárních látek dosáhl lněný olej, poté sójový olej, řepkový a jako poslední olej arašídový (Tabulka 17) (J. Chen et al., 2018).

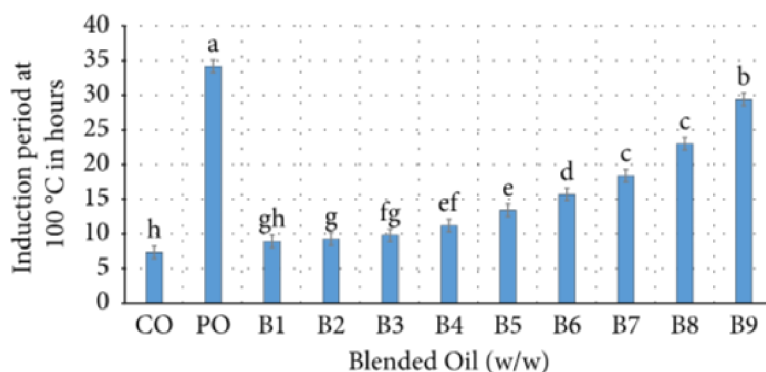
Tabulka 17: Změny TPC (w/w, %) čtyř jedlých olejů během testu Shaalova testu (J. Chen et al., 2018)



PO = arašídový, RO = řepkový, SO = sójový a LO = lněný olej

Smícháním řepkového oleje a palmového tuku došli vědci k závěru, že se zvyšujícím se poměrem palmového tuku se prodlužuje indukční perioda v Schaal testu, což zlepšuje oxidační stabilitu. Stabilita palmového tuku je cca 5x vyšší než řepkového oleje. Důvodem je vyšší obsah tokoferolů a tokotrienolů v palmového tuku (Allam et al., 2023).

Obrázek 7 Stabilita smíchaného nízkoerukového řepkového oleje s palmoleinem při 100 °C (Allam et al., 2023)



Z tabulky 18 vyplývá, že existuje odlišnost mezi vzorky sádla po smažení hranolků ze žlutých a fialových hranolků. Odrůdy fialových brambor mají delší indukční periodu (Soukup et al., 2021). Nelze tedy popřít, že se díky vyšší antioxidační aktivitě fialových brambor byla prodloužena indukční perioda a došlo k potlačení oxidace tuků již při smažení (Bvenura et al., 2022).

*Tabulka 18: Indukční perioda (IP) a protekční faktor (PF) nesmaženého sádla a vzorků sádla po smažení brambor*

<b>Vepřové sádlo</b>	<b>Barva dužiny brambory</b>	<b>IP (dny)</b>	<b>PF</b>
<b>Sádlo nesmažené</b>		9,6±0,1 <sup>c</sup>	–
<b>Valkýra</b>	žluté	2,4±0,1 <sup>c</sup>	0,25
<b>Valmont</b>	žluté	5,0±0,4 <sup>d</sup>	0,52
<b>Antonia</b>	žluté	5,8±0,3 <sup>d</sup>	0,60
<b>Valfi</b>	fialové	10,1±0,1 <sup>bc</sup>	1,05
<b>Blue Star</b>	fialové	11,0±0,1 <sup>a</sup>	1,15
<b>Val Blue</b>	fialové	11,5±0,1 <sup>ab</sup>	1,20

### 3.7.3 Senzorické hodnocení

Přednostní rysy smaženého produktu jsou chuť, barva, křupavost, které závisí na surovině, médiu a podmínkách nastavených při smažení. Jelikož se smažicí medium vstřebává a má vliv na sensorické vlastnosti výsledného produktu, závisí na jeho kvalitě. Sloučeniny, které vzniknou během fritování jsou přeneseny a absorbovány do takto připravovaného pokrmu. Proto když je médium, jakkoliv znehodnoceno, tak se to zobrazí i na kvalitě výrobku (Xu et al., 2021).

Panelisté studie zabývající se mimo jiné i sensorickou analýzou hodnotili u čerstvě usmažených hranolků křupavost, barvu a chuť. Jejich úkolem bylo určit, které hranolky jsou nejčerstvější, nejjasnější a nejkřupavější mezi vzorky připravenými v různých olejích na smažení po definované době a opakování smažení. Po první smažení vycházely jako nejčerstvěji hranolky ze slunečnicového olej s vysokým obsahem olejové kyseliny > slunečnicový olej > palmový tuk a jako poslední byl olej řepkový a řepkový olej s vysokým obsahem olejové kyseliny. Členové sensorického panelu hodnotili vzorky z prvního smažení. Toto pořadí se i po 5. smažení téměř nezměnilo (Petersen et al., 2013).

## 4 METODIKA

### 4.1 Experiment I: Smažení

#### 4.1.1 Výběr surovin a smažicího média

Pro praktickou část diplomové práce byly použity 2 typy brambor. Jednalo se o fialové a žluté pozdní, konzumní. Důležitým výběrovým faktorem při rozhodování se stala podobnost varného typu obou brambor. Oba jsou varného typu B, zakoupené v obchodním řetězci Makro, kde jsou konzumentům nejvíce přístupné po celý rok i fialové varianty odrůdy Fleur Bleue. U žlutých brambor není takový problém s dostupností na trhu, ale pro zachování podobnosti a místa nákupu, byla zakoupena odrůda Princess.

Hlízy brambor jsou důležitým zdrojem antioxidantů v lidské stravě, i proto že jsou tak často konzumovány ve všech možných kulinárních úpravách. Z toho důvodu vědce v poslední době více a více zajímá, jak by ještě navýšili antioxidační aktivitu experimenty se šlechtěním. Toho je dosahováno buď zvýšením obsahu fenolových sloučenin a karotenoidů, které jsou hlavními faktory přispívajícími k jejich antioxidační schopnosti, nebo zvyšováním množství selenu ve výživě brambor. Ze studií vychází, že fialové brambory mají vyšší antioxidační aktivitu a tím napomáhají zlepšení kvality výrobku. Dokonce u červeně či modře zbarvených brambor by antioxidační aktivita mohla být 2–3x větší oproti bramborům se žlutou nebo bílou dužninou (Lachman et al., 2005, 2016; Ru et al., 2019). Aby byly vidět tyto vlastnosti, byly pro porovnání vybrány k fialovým hlízám brambor i žluté.

Po předchozí rešerši smažicích médií a konzumenty nejčastěji používanými, byl vybrán řepkový olej. Je běžně a cenově dostupný v potravinových řetězcích pro širokou populaci a svými vlastnosti je vhodným domácím fritovacím médiem. Olej na pokus byl zakoupen v řetězci Makro značky ARA (Makro – Giana).

Jeho obsah PUFA se pohybuje v hodnotách 17–28 %, což je v porovnání s ostatními oleji průměrná hodnota. Jeho bod zakouření 220–230 °C patří k nadprůměru (Hosseini et al., 2016; Molina-Garcia et al., 2017). Při tepelném zahřívání jako je i smažení/fritování dochází k oxidaci, a tak je dalším důležitým faktorem obsah antioxidantů. Tato diplomová práce se zaměřila na obsah tokolů. Řepkový olej obsahuje cca 370–850 mg/kg tokoferolů v nesmažené formě (Etsuo & Kouichi, 2019; Xie et al., 2021). K porovnání, zdali naměřené hodnoty diplomové práce souhlasí se studiemi, byla použita HPLC/FLD, která je blíže okomentovaná v kap. 6.3 Experiment IV: HPLC. Každá smažená potravina v určitém množství přijímá tuk či olej, v kterém je připravována, a tak je důležité

dbát na správný výběr pro danou kulinární přípravu. Ve studii, kde pro fritování použili palmový tuk, sójový a řepkový olej, byl znatelný rozdíl mezi těmito oleji v hodnocení výsledné vůně hranolků. Řepkový olej měl nejmenší dopad na kvalitu vůně. V palmovém a sójovém hodnotící panel cítil kovový zápach a u hranolek smažených na řepkovém oleji cítili tukový zápach (Xu et al., 2021). Pro smažení nejsou používány pouze média rostlinného původu, ale setkáváme se i s živočišnými jako je vepřové sádlo, máslo či ghí. Jejich chemické složení není pro smažení nevhodné, bod zakouření mimo máslo by také vyhovoval úpravě smažení, ale jejich cena je ve velkoobjemovém a častém používání výrazně vyšší (Brassard et al., 2017; Livingstone et al., 2000; Mohammadi Hosseinabadi & Nasrollahzadeh, 2022).

#### **4.1.2 Příprava vzorku**

Pro smažení bramborových hranolků byla použita fritéza Nova 121 (ser. Nr. 9245), která byla přehřátá na cca 170 °C (funkce hranolky). Mezi tím byly omyto, oloupano a nakrájeno přibližně 300 g oloupaných brambor na tvar hranolků (váženo na kuchyňských vahách značky ETA). Šířka a hloubka odpovídaly rozměrům mezi 0,5–1 cm, délka byla podle velikosti brambor. Hranolky byly osušeny kuchyňskými utěrkami. Na začátku bylo do fritézy nalito 2 litry oleje, aby i při posledním smažení byl dostatek oleje pro smažení. Po zhasnutí kontrolky na fritéze značící zahřátí na přednastavenou teplotu, byla pro jistotu ještě teplota oleje změřena digitálním teploměrem PRESTO značky Tescoma (Tabulka 19, Tabulka 20).

S vložením do smažicí lázně teplota poklesla a byly zapnuty stopky. Čas smažení byl stanoven prvním smažením na přibližně 4 minuty a po celou dobu pokusu byla snaha o největší přesnost k tomuto času. Druhou roli při době od vložení hranolky do fritézy hrála zlatá barva hranolků, které jí získaly v naměřeném čase. Teplota při smažení se držela mezi 143,9–170,1 °C. Po usmažení byly hranolky za pomoci smažicího košíku odstaveny, aby odkapaly a zchladly na teplotu vhodnou pro podávání hodnotitelům.

Odebírání vzorku oleje do 50ml zkumavek probíhalo po každém smažení až když byl olej vychladlý, mimo první odebrání nesmaženého vzorku. Takto odebrané vzorky se skladovaly v mrazáku na –80 °C. Celkem proběhlo pět smažení jednoho druhu brambor v jednom a tom samém oleji. Každý odběr byl označen a toto označení přetrvávalo u všech analýz (Tabulka 21).

Tabulka 19: Harmonogram při smažení žlutých brambor

Pořadí smažení	Teplota [°C]						Čas Od vložení hranolek
	Oleje PŘED zahřátím	Oleje PŘED vložením hranolek	Oleje Při smažení	Oleje Po dosmažení	Pokožová teplota	Venkovní teplota	
1.	22,9	178,2	150,1	163,5	23	14	00:03:40
2.	21,3	175,8	141,2	171,2	20	8	00:04:20
3.	21,5	182,1	162,3	173,4	19	3	00:04:00
4.	20,3	172,3	168,3	170,5	19	2	00:04:10
5.	20,4	175,4	170,1	173,6	20	0	00:04:05

Tabulka 20: Harmonogram při smažení fialových brambor

Pořadí smažení	Teplota [°C]						Čas Od vložení hranolek
	Oleje PŘED zahřátím	Oleje PŘED vložením hranolek	Oleje Při smažení	Oleje Po dosmažení	Pokožová teplota	Venkovní teplota	
1.	19,5	176,3	143,9	169,3	20	-1	00:06:20
2.	19,8	180,3	171,2	172,1	19	0	00:05:00
3.	19,5	175,1	155,3	170,1	18	-1	00:04:30
4.	19,9	175,3	163,6	174,5	19	2	00:04:20
5.	20,6	178,2	169,8	175,3	20	4	00:04:00

Tabulka 21: Popis vzorků nesmaženého i smaženého oleje

Odebrání vzorku po	Brambory	
	Žluté	Fialové
Nesmažené	Y00	P00
1. Smažení	Y01	P01
2. Smažení	Y02	P02
3. Smažení	Y03	P03
4. Smažení	Y04	P04
5. Smažení	Y05	P05



## **4.2 Experiment II: Senzorická analýza**

Senzorický panel se skládal ze 3 částečně zaškolených hodnotitelů a hodnocení probíhalo za domácích podmínek. K hodnocení byly vždy předkládány čerstvé hranolky, které nebyly nijak ochucené. Protože se obě odrůdy smažily zvlášť, tak i vyhodnocování probíhalo 5 dní za sebou po dobu 14 dní. Ke klasifikaci hranolků dostaly posuzovatelé dotazník (Příloha 1), v kterém měli hodnotit 8 parametrů, jak vizuálních, tak chuťových. Hodnocené aspekty smažených hranolků byly: vzhled, barva, křupavost, chuť, intenzita smažené chuti, žluklé příchuti a ostatních pachutí.

### **4.2.1 Statistická analýza**

Data byla zpracována v programu STATISTIKA 12 za použití analýzy rozptylu (Anova s interakcemi), Sheffeho post-hoc testu na hladině významnosti 0,05.

## **4.3 Experiment III: Schaalův test**

### **4.3.1 Příprava vzorku do kádinek**

Ze zkumavek se vzorky nesmaženého a smažených olejů z obou brambor bylo do kádinek po rozmrazení naváženo přibližně 20 g oleje za využití analytických vahách. U každého vzorku byly pořízeny duplikáty. Všech 22 podepsaných kádinek bylo přeneseno do sušárny značky Binder a ponecháno do druhého dne.

### **4.3.2 Sušení a vážení kádinek**

Hned následující den po navážení olejů do kádinek byly vzorky po vychladnutí na pokojovou teplotu zváženy na analytických vahách a zaznamenány na 0,1 mg. Další vážení následovalo za další 3–4 dny po dobu 8 týdnů.

### **4.3.3 Zpracování dat**

Z naměřených dat byly vypočteny relativní změny hmotnosti a graficky zpracovány. Z těchto grafů byly odečteny indukční periody a vypočteny protekční faktory.

## 4.4 Experiment IV: HPLC

### 4.4.1 Příprava mobilní fáze

Pro stanovení tokoferolů byla použita mobilní fáze připravena smícháním 50 ml butyl-methyletheru + 950 ml heptanu. Tato směs byla připravena před analýzou, aby byla zajištěna její čerstvost.

### 4.4.2 Příprava vzorku pro analýzu

Do 10ml odměrné baňky bylo naváženo na analytických vahách přibližně 1 g vzorku oleje. Objem byl doplněn n-heptanem po rysku a důkladně promíchán. Z takto připraveného roztoku bylo odpipetováno 1,5ml do pečlivě uzavřených vialek.

Vzorky byly následně analyzovány pomocí HPLC/FLD za podmínek uvedených v aplikačním listu Quality Analysis of Virgin Olive Oils-Part 4 (Agilent Technologies, Inc., Waldbronn, Německo; Schneider 2016). Tato metoda byla nově naimplementována, vzorky tedy byly změřeny pouze jednou.

### 4.4.3 Stanovení tokoferolů

Stanovení probíhalo na vysokoúčinné kapalinové chromatografii za podmínek uvedených v aplikačním listu (Tabulka 22) Quality Analysis of Virgin Olive Oils-Part 4 (Schneider, 2014). Systém Agilent 1260 Infinity Bio-inert Quaternary LC se skládal z: bioinertního kvartérního čerpadla Agilent 1260 Infinity (G5611A), vysoce výkonného autosapleru Agilent 1260 Infinity Bio-inert (G5667A), Termostat Agilent 1290 Infinity (G1330B) pro chlazení vzorků, Agilent 1290 Infinity s termostatovanou kolonou (G1316C) s výměníkem tepla probioinertní rozpouštědlo, fluorescenční detektor Agilent 1260 Infinity (G1321B), vybavený standardní bioinertní průtokovou kvetou FLD.

Tabulka 22: Chromatografické podmínky (Schneider, 2014)

<b>Mobilní fáze:</b>	tBME:heptan (5:95)
<b>Průtok mobilní fáze:</b>	1 ml/min
<b>Délka analýzy:</b>	45 minut
<b>Teplota chromatografické kolony:</b>	35 °C
<b>Objem nástřiku:</b>	10 µl
<b>Excitační délka:</b>	298 nm
<b>Emisní délka:</b>	330 nm

Na proplach byl použit isopropanol při nízkém průtoku 0,2 ml za minutu. Po ustálení mobilní fáze byly vzorky změřeny třikrát v každé sérii. Data z programu byla dále zpracována v excelu.

#### **4.4.4 Statistická analýza**

Data byla zpracována v programu STATISTIKA 12 za použití analýzy rozptylu (Anova s interakcemi), Sheffeho post-hoc testu na hladině významnosti 0,05.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Experiment II: Senzorická analýza

#### 5.1.1 Statistická analýza

Z výsledků hodnocení sensorického profilu (Příloha 2) vyplývá, že se hodnotitelé od sebe v některých parametrech hodně lišili. Průměry se směrodatnými odchylkami jsou uvedeny v tabulce 23. Statistická analýza pomocí dvou faktorové Anovy s interakcemi uvádí, že u vzhledu, barvy, smažené chuti, žluklosti, pachuti a celkové chuti nebyly statisticky významné rozdíly v závislosti na obou faktorech dohromady (brambora \* počet smažení), ale pokud jsou brány v úvahu rozdíly mezi žlutými a fialovými bramborami, tak u vzhledu ( $p = 0,0069$ ), barvy ( $p = 0,0344$ ), křupavosti ( $p < 0,0001$ ) a skousnutí ( $p = 0,0002$ ) existují statisticky významné rozdíly. U smažené chuti ( $p = 0,1343$ ), žluklosti ( $p = 0,3780$ ), pachuti ( $p = 0,1492$ ) a celkové chuti ( $p = 0,1363$ ) nejsou statisticky významné rozdíly v závislosti na odrůdě brambor na tyto hodnocené aspekty.

Na vzhled ( $F = 9,087$ ), barvu ( $F = 5,155$ ), křupavost ( $F = 63,31$ ), skousnutí ( $F = 21,79$ ), smaženou chuť ( $F = 2,436$ ), pachů ( $F = 2,251$ ) a celkovou chuť ( $F = 2,409$ ) má nejvýznamnější vliv typ brambor před počtem smažení a interakcemi obou faktorů. Žluklost se od ostatních lišila, protože u ní byl silnější faktor počet smažení ( $F = 1,000$ ). S přibývajícím smažením se zvyšovala síla pachuti u obou druhů hranolek. U vzorků žlutých brambor po 1. a 2. smažení se hodnotitelé shodli, že necítí žádnou žluklou chuť. Největší směrodatnou odchylku mají vzhled a barva.

Graf 1 znázorňuje výsledky hierarchického shlukování vzorků smažených hranolků z fialových a žlutých brambor v závislosti na všech parametrech sensorického hodnocení. Vyplývá z něj na základě Euklidovské vzdálenosti, že hranolky z fialových brambor po 4. a 5. smažení se od ostatních nejvíce liší. Největší podobnost mají vzorky po 3. a 5. smažení žlutých brambor. Hranolky žlutých brambor jsou si z hlediska sensorického hodnocení více podobné v porovnání se vzorky z brambor fialových. Vzorky P1, P2 a P3 se oddělily od P4 a P5.

Tabulka 23: Senzorické hodnocení smažených hranolků z fialových a žlutých brambor

Brambora	Počet smažení	Vzhled	Barva	Křupavost	Skousnutí	Chuť	Smažené chuti	Žluklost	Pachutě
P	1	45 ± 23 <sup>a</sup>	38 ± 23 <sup>a</sup>	67 ± 10 <sup>a</sup>	49 ± 5 <sup>ab</sup>	71 ± 15 <sup>a</sup>	38 ± 32 <sup>a</sup>	2 ± 2 <sup>a</sup>	3 ± 5 <sup>a</sup>
P	2	40 ± 30 <sup>a</sup>	34 ± 25 <sup>a</sup>	43 ± 17 <sup>abc</sup>	25 ± 4 <sup>ab</sup>	59 ± 19 <sup>a</sup>	49 ± 22 <sup>a</sup>	22 ± 27 <sup>a</sup>	20 ± 22 <sup>a</sup>
P	3	27 ± 14 <sup>a</sup>	30 ± 15 <sup>a</sup>	44 ± 8 <sup>abc</sup>	30 ± 13 <sup>ab</sup>	33 ± 13 <sup>a</sup>	52 ± 2 <sup>a</sup>	20 ± 28 <sup>a</sup>	25 ± 26 <sup>a</sup>
P	4	78 ± 14 <sup>a</sup>	82 ± 10 <sup>a</sup>	76 ± 5 <sup>a</sup>	70 ± 0 <sup>a</sup>	71 ± 14 <sup>a</sup>	56 ± 22 <sup>a</sup>	13 ± 9 <sup>a</sup>	13 ± 9 <sup>a</sup>
P	5	54 ± 18 <sup>a</sup>	57 ± 14 <sup>a</sup>	61 ± 8 <sup>ab</sup>	43 ± 5 <sup>ab</sup>	43 ± 14 <sup>a</sup>	40 ± 23 <sup>a</sup>	46 ± 33 <sup>a</sup>	37 ± 27 <sup>a</sup>
Y	1	65 ± 20 <sup>a</sup>	58 ± 26 <sup>a</sup>	11 ± 7 <sup>c</sup>	20 ± 9 <sup>ab</sup>	66 ± 12 <sup>a</sup>	71 ± 17 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	1 ± 2 <sup>a</sup>
Y	2	58 ± 24 <sup>a</sup>	77 ± 13 <sup>a</sup>	17 ± 5 <sup>bc</sup>	19 ± 11 <sup>ab</sup>	73 ± 21 <sup>a</sup>	67 ± 18 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5 ± 4 <sup>a</sup>
Y	3	72 ± 17 <sup>a</sup>	58 ± 24 <sup>a</sup>	17 ± 17 <sup>bc</sup>	21 ± 21 <sup>ab</sup>	61 ± 23 <sup>a</sup>	64 ± 15 <sup>a</sup>	24 ± 32 <sup>a</sup>	10 ± 8 <sup>a</sup>
Y	4	82 ± 10 <sup>a</sup>	82 ± 10 <sup>a</sup>	41 ± 8 <sup>abc</sup>	29 ± 14 <sup>ab</sup>	73 ± 9 <sup>a</sup>	48 ± 32 <sup>a</sup>	26 ± 25 <sup>a</sup>	15 ± 12 <sup>a</sup>
Y	5	61 ± 8 <sup>a</sup>	58 ± 6 <sup>a</sup>	14 ± 14 <sup>bc</sup>	16 ± 10 <sup>b</sup>	60 ± 16 <sup>a</sup>	60 ± 14 <sup>a</sup>	10 ± 8 <sup>a</sup>	16 ± 12 <sup>a</sup>

Y – žluté brambory

P – fialové brambory

<sup>a,b,c</sup> – Hodnoty ve sloupcích s rozdílnými horními indexy se statisticky významně liší na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Orientace stupnic:

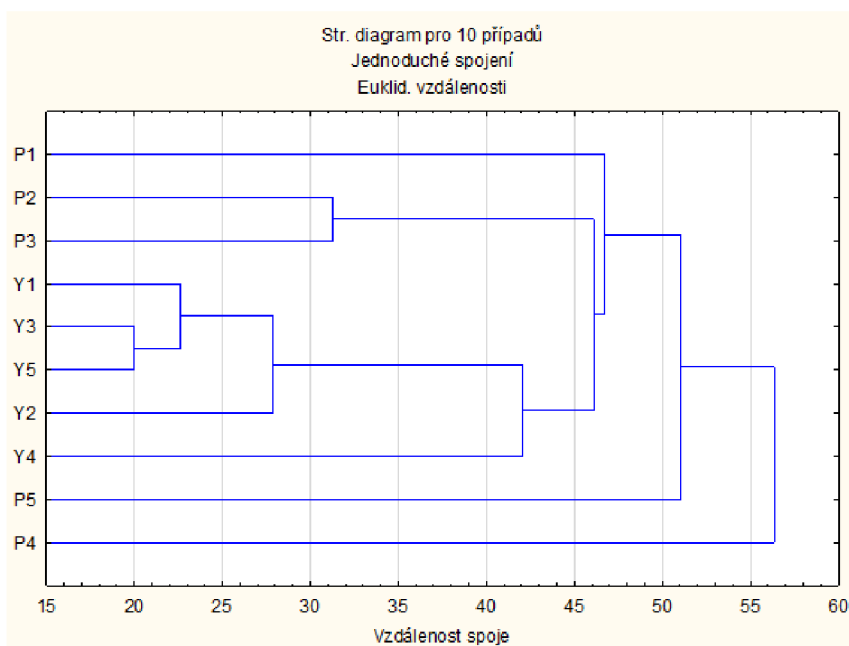
vzhled, barva, celková příjemnost chuti (0 % = velmi špatná, 100 % = výborná),

křupavost (0 % = zcela vláčný, 100 % = křupavý),

zvuky při prvním soustu (0 % = neslyšitelné, 100 % = velmi silné),

intenzita smažené chuti, žluklé chuti a pachuti (0 % = neznatelná, 100 % = velmi silná).

Graf 1: Souhrnný diagram senzoričkého hodnocení



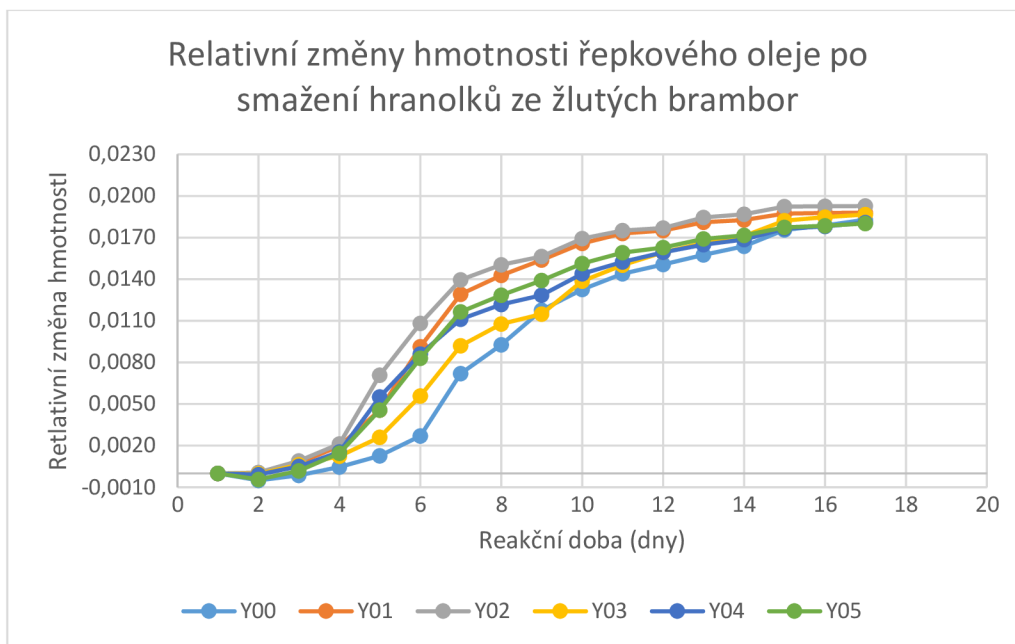
## 5.2 Experiment III: Schaalův test

### 5.2.1 Sušení a vážení kádinek

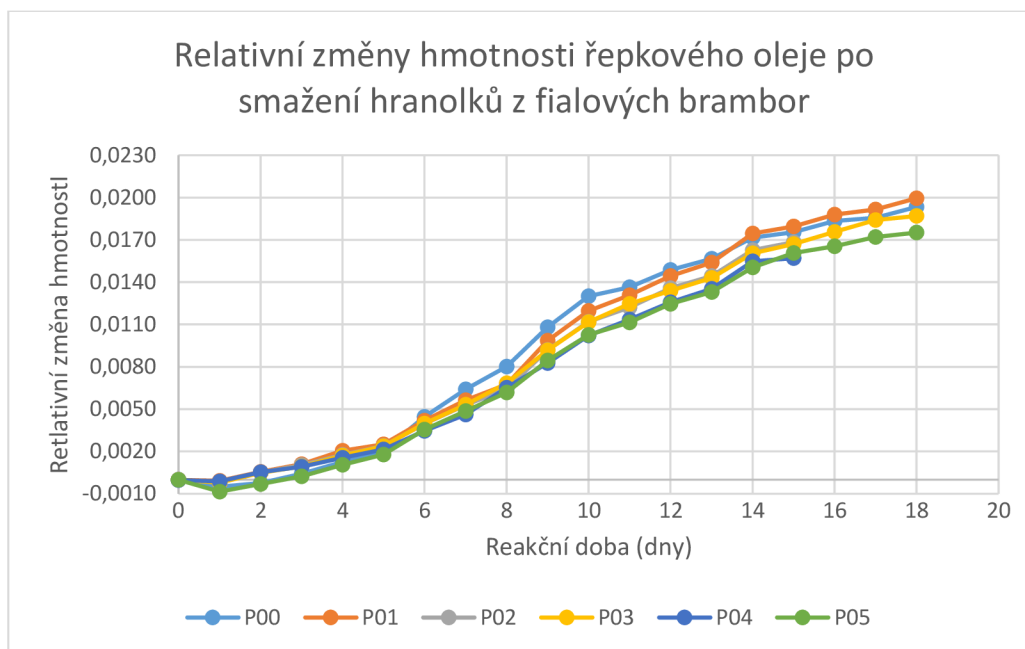
Graf 2 a graf 3 znázorňují, jak se měnila relativní hmotnost všech analyzovaných vzorků při skladování za podmínek Schaalova testu u řepkového oleje po usmažení hranolků ze žlutých a fialových brambor i nesmaženého vzorku. Relativní změny hmotnosti řepkového oleje po smažení žlutých brambor jsou uvedeny v příloze 4 a fialových brambor v příloze 3. Z grafu 2 a grafu 3 byly odečteny indukční periody závislosti relativních změn hmotností na čase, které jsou znázorněny společně s vypočteným protekčním faktorem vůči nesmažené hodnotě v tabulce 24. U řepkového oleje žlutých brambor (Graf 2) je ostřejší zlom grafu jak u brambor fialových.

Z výsledků vyplývá, že čím byl řepkový olej vícekrát použit pro smažení, tím byl více narušen a snižovala se indukční perioda i protekční faktor. U fialových brambor je patrné, že zlepšily vlastnosti smaženého řepkového oleje, a i po pátém smažení se protekční faktor nerovná ani není nižší jak hodnota u nesmaženého oleje. Žluté brambory na zlepšení kvality oleje vliv neměly.

Graf 2: Relativní změny hmotnosti řepkového oleje po smažení hranolků ze žlutých brambor



Graf 3: Relativní změny hmotnosti řepkového oleje po smažení hranolků ze fialových brambor



Tabulka 24: Indukční periody a protekční faktory řepkového oleje při skladování za podmínek Schaal testu u žlutých brambor

		Indukční perioda [dny]	Protekční faktor
<b>FIALOVÉ brambory</b>	P00	5,00	1,00
	P00	6,70	1,34
	P02	6,70	1,34
	P03	6,30	1,26
	P04	5,90	1,18
	P05	5,80	1,16
<b>ŽLUTÉ brambory</b>	Y00	4,78	1,00
	Y01	3,49	0,73
	Y02	3,00	0,63
	Y03	3,75	0,78
	Y04	3,00	0,63
	Y05	3,00	0,63

## 5.3 Experiment IV: HPLC

### 5.3.1 Stanovení tokoferolů

Při smažení docházelo ke změně obsahu sledovaných  $\alpha$ -tokoferolu,  $\gamma$ -tokoferolu,  $\beta$ -tokotrienolu a  $\delta$ -tokotrienolu v řepkovém oleji. Tyto průměrné hodnoty jsou vyznačeny po smažení žlutých a fialových brambor v tabulce 25 a vychází z hodnot v příloze 5. U všech tokolů bylo spočítáno, zdali jsou mezi vzorky rozdíly za použití dvou faktorové Anovy s interakcemi.

U  $\alpha$  - tokoferolu bylo zjištěno, že počet smažení je silnějším faktorem ( $F = 81,79$ ) než vliv brambor ( $F = 39,73$ ) a než interakce obou faktorů ( $F = 8,29$ ). V závislosti na typu brambor se hodnoty od sebe liší ( $p < 0,0001$ ). Při zohlednění obou faktorů bylo zjištěno, že mezi jednotlivými vzorky existují rozdíly, které jsou vidět v tabulce 25. Olej po smažení žlutých i fialových brambor se od kontroly nesmaženého vzorku začal lišit ve 2. smažení. Olej po smažení žlutých brambor vykazoval daleko větší odlišnost a úbytek ve 4. a 5. smažení od předchozích než olej brambor fialových v totožné fázi smažení. Páté smažení se u oleje fialových brambor částečně nelišilo od 2. smažení.

Na obsah  $\gamma$ -tokoferolu má výraznější dopad počet smažení ( $F = 13,90$ ) než interakce obou faktorů ( $F = 2,36$ ) a vliv brambor ( $F = 0,83$ ). Hodnoty  $p = 0,3707$  vypovídá, že neexistuje rozdíl mezi hodnotami  $\gamma$ -tokoferolu v závislosti na odrůdách brambor. Z tabulky 25 plyne, že u fialových brambor se neliší



kontrolní vzorek od vzorků smažených. Čtvrté a páté smažení vykazovalo odlišnost od kontrolního vzoru u brambor žlutých.

Na obsah  $\beta$ -tokotrienolu má nejvýznamnější vliv počet smažení ( $F = 26,60$ ), pak účinek odrůdy brambor ( $F = 5,55$ ) a interakce obou faktorů ( $F = 1,67$ ). Mezi odrůdami brambor existuje statisticky významný rozdíl ( $p = 0,0269$ ). Odlišnosti mezi kontrolními a smaženými vzorky byly téměř identické jako u  $\gamma$ -tokoferolu. U oleje po smažení fialových brambor se množství  $\beta$ -tokotrienolu lišilo po 5. smažení od P00 a u žlutých už 3. smažení od Y00.

Při ohledu na interakci obou faktorů (brambor a počtu smažení) se hodnoty  $\delta$ -tokotrienolu v řepkovém oleji fialových i žlutých brambor nijak nelišily, protože neexistují statisticky průkazné rozdíly. Tento faktor vzájemného působení počtu smažení na odrůdu brambor byl v tomto případě nejsilnějším ( $F = 2,61$ ), ale příliš se nelišil od efektu samotného počtu smažení ( $F = 2,571$ ). Vliv odlišnosti brambor se v porovnání z předchozí může zdát naprosto zanedbatelný ( $F = 0,457$ ) a též ani není statisticky průkazný rozdíl mezi fialovými a žlutými bramborami.

Tabulka 25: Obsah tokoferolů a tokotrienolů v řepkovém oleji u fialových a žlutých brambor [mg/kg]

	<b>α– tokoferol</b>	<b>γ– tokoferol</b>	<b>β– tokotrienol</b>	<b>δ– tokotrienol</b>
<b>P00</b>	145,78 ± 6,78 <sup>a</sup>	148,73 ± 5,02 <sup>a,b</sup>	46,19 ± 0,21 <sup>a</sup>	1,94 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>P01</b>	137,49 ± 5,04 <sup>ab</sup>	145,94 ± 5,61 <sup>a,b,c</sup>	45,45 ± 3,52 <sup>a</sup>	1,91 ± 0,06 <sup>a</sup>
<b>P02</b>	108,62 ± 11,85 <sup>bcd</sup>	128,34 ± 9,31 <sup>a,b,c</sup>	37,64 ± 5,30 <sup>ab</sup>	1,88 ± 0,14 <sup>a</sup>
<b>P03</b>	108,38 ± 4,29 <sup>bcd</sup>	130,28 ± 3,60 <sup>a,b,c</sup>	35,98 ± 2,37 <sup>abc</sup>	1,94 ± 0,13 <sup>a</sup>
<b>P04</b>	94,23 ± 1,85 <sup>cdef</sup>	125,11 ± 5,21 <sup>a,b,c</sup>	33,32 ± 0,62 <sup>abc</sup>	2,21 ± 0,06 <sup>a</sup>
<b>P05</b>	70,13 ± 4,37 <sup>defg</sup>	104,30 ± 6,00 <sup>a,b,c</sup>	25,98 ± 1,90 <sup>bc</sup>	1,94 ± 0,08 <sup>a</sup>
<b>Y00</b>	151,71 ± 10,58 <sup>a</sup>	157,11 ± 8,60 <sup>a,b</sup>	48,11 ± 5,55 <sup>a</sup>	1,86 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>Y01</b>	119,16 ± 6,74 <sup>abc</sup>	136,59 ± 5,24 <sup>a</sup>	40,06 ± 2,09 <sup>ab</sup>	2,14 ± 0,08 <sup>a</sup>
<b>Y02</b>	102,76 ± 10,34 <sup>bcd</sup>	135,35 ± 9,88 <sup>a,b,c</sup>	37,73 ± 3,59 <sup>ab</sup>	1,98 ± 0,13 <sup>a</sup>
<b>Y03</b>	74,97 ± 6,45 <sup>defg</sup>	105,60 ± 4,29 <sup>a,b,c</sup>	29,83 ± 1,80 <sup>bc</sup>	1,97 ± 0,04 <sup>a</sup>
<b>Y04</b>	61,83 ± 8,64 <sup>fg</sup>	103,89 ± 12,56 <sup>b,c</sup>	27,97 ± 27,97 <sup>bc</sup>	1,98 ± 0,05 <sup>a</sup>
<b>Y05</b>	42,66 ± 1,60 <sup>g</sup>	83,95 ± 1,52 <sup>c</sup>	21,81 ± 1,52 <sup>c</sup>	1,72 ± 0,12 <sup>a</sup>

<sup>abcdefg</sup> – Hodnoty ve sloupcích s rozdílnými horními indexy se statisticky významně liší na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

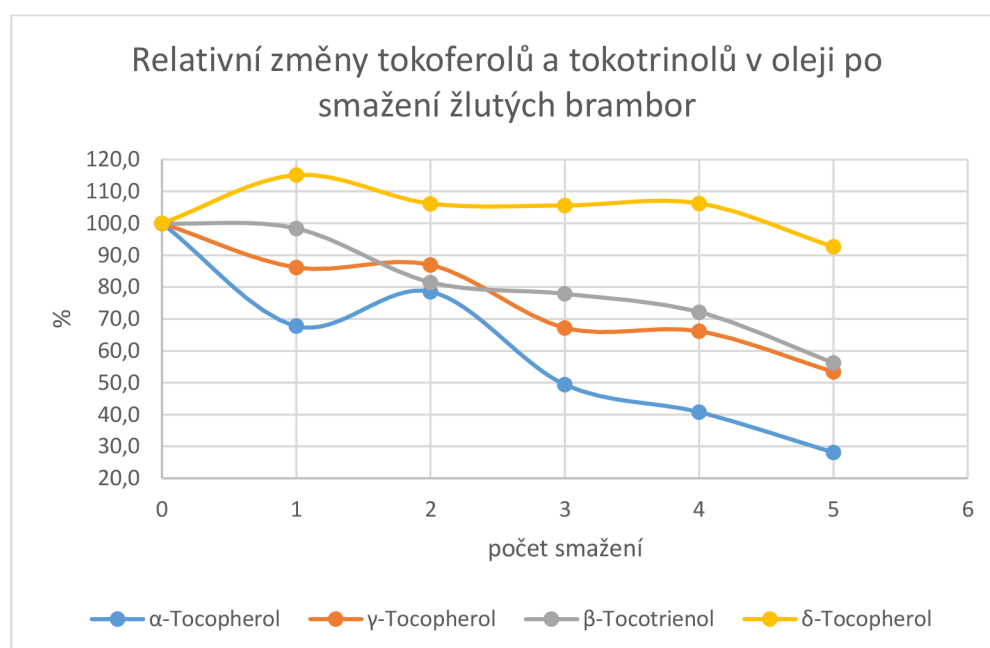
Výsledky jsou vyjádřeny jako průměry ± standardní odchylka.

Graf 4 a graf 5 zobrazují relativní změny tokoferolů a tokotrienolů v oleji po smažení žlutých a fialových brambor. Největší úbytek nastal u  $\alpha$ -tokoferolu, kdy se množství snížilo v oleji fialových o polovinu a u oleje žlutých o více jak 2/3 z původního množství (Tabulka 26). Oproti tomu  $\delta$ -tokotrienol měl nejmenší tendenci ubývat, dokonce došlo i k jeho relativnímu navýšení u obou odrůd (zřejmě z důvodu snížení obsahu vody či vytěkání jiných látek z oleje, přičemž výsledky jsou vztaženy na navážku oleje po smažení). Obsahy  $\gamma$ -tokoferolu a  $\beta$ -tokotrienolu poklesly téměř o polovinu, ale v obou případech bylo množství po 5. smažení vyšší u oleje po smažení fialových brambor jak u oleje brambor žlutých.

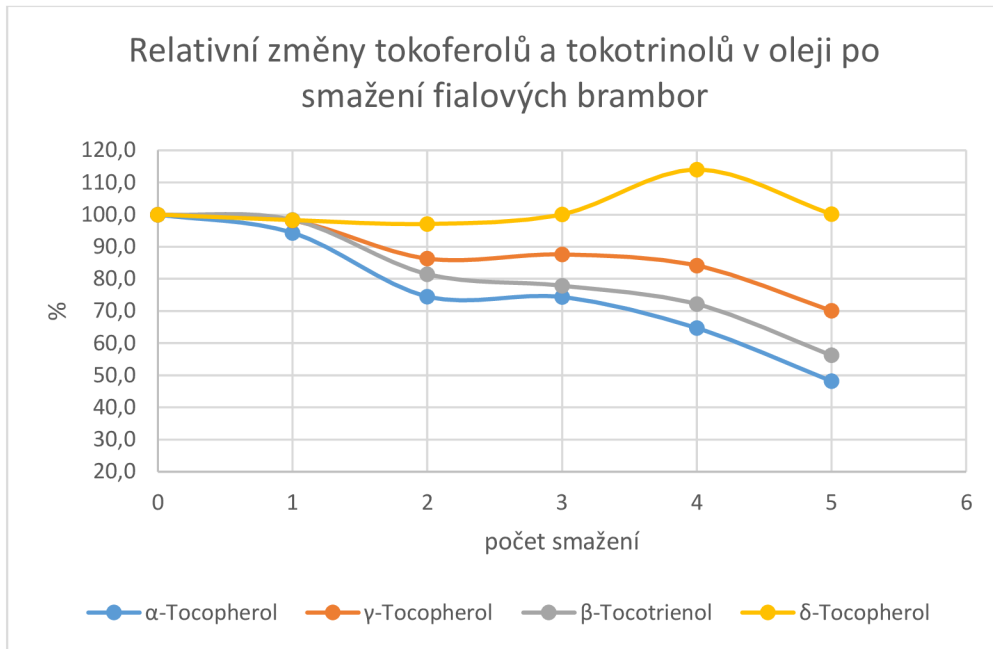
Tabulka 26: Relativní změny tokoferolů a tokotrienolů v oleji po smažení fialových a žlutých brambor [%]

	smažení	$\alpha$ - tokoferol	$\gamma$ - tokoferol	$\beta$ - tokotrienol	$\delta$ - tokotrienol
<b>FIALOVÉ brambory</b>	0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1	94,3	98,1	98,4	98,3
	2	74,5	86,3	81,5	97,1
	3	74,3	87,6	77,9	100,1
	4	64,7	84,1	72,1	114,0
	5	48,2	70,1	56,2	100,2
<b>ŽLUTÉ brambory</b>	0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1	67,7	86,2	78,4	115,2
	2	78,5	86,9	83,3	106,2
	3	49,4	67,2	62,0	105,6
	4	40,8	66,1	58,1	106,3
	5	28,1	53,4	45,3	92,6

Graf 4: Relativní změny tokoferolů a tokotrienolů v oleji po smažení žlutých brambor

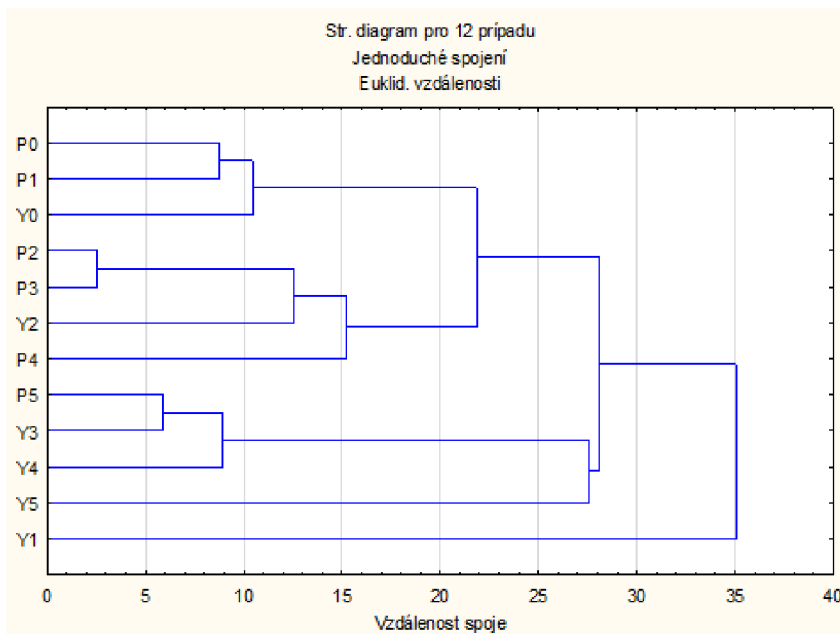


Graf 5: Relativní změny tokoferolů a tokotrienolů v oleji po smažení fialových brambor



Z průměrů naměřeného množství [mg/kg]  $\alpha$ -tokoferolu,  $\gamma$ -tokoferolu,  $\beta$ -tokotrienolu a  $\delta$ -tokotrienolu žlutých i fialových brambor v řepkovém oleji byl vytvořen pomocí analýzy hierarchického shlukování graf 6. Podle Euklidovské vzdálenosti jsou si nejvíce podobní vzorky olejů fialových brambor P2 (vzorek po 2. smažení) a P3 (vzorek po 3. smažení). Nejvíce se od všech odlišuje olej žlutých brambor Y1.

Graf 6 Souhrnný diagram množství tokolů v řepkovém oleji



## 6 DISKUZE

### 6.1 Experiment II: Senzorické hodnocení

Z výsledků hodnotitelů této diplomové práce vyplývá, že z hlediska sensorického hodnocení jsou žluté brambory více méně mezi jednotlivými smaženými srovnatelné. Kdyžto vzorky fialových brambor se v průběhu analýzy liší. Celkově však byly preferovány hranolky ze žlutých brambor. Důvodem může být neznalost hranolků z fialových brambor. Tím pádem i určitá míra nepřijatelnosti těchto hranolků hodnotiteli v souvislosti se zvyklostí na hranolky žlutých brambor. Preference žlutých hranolků se shoduje s prací od Soukup et al. zabývající se změnami lipidů při zpracování a skladování potravin z hlediska jejich nutriční a sensorické jakosti (2021).

Z dotazníků od zaškolených hodnotitelů vyplývá, že u obou odrůd brambor se zvyšujícím se počtem smažení snižovala celková chuť hranolků. U studie při opakovaném smažení se ve všech použitých tucích a olejích, zejména v sójovém oleji a palmovém tuku, výrazně zvýšila kovová pachů. Tento jev naznačuje, že pokles kvality oleje a jeho nepříjemná chuť souvisí nejen s výběrem smažicího média, ale i opakovaném smažením (Xu et al., 2021).

I přes to, že byl pro tuto práci vybrán pouze řepkový olej, bylo by vhodné se pozastavit nad možností výběru jiného smažicího média právě kvůli zmiňovaným sensorickým vlastnostem. Podnětem pro tuto úvahu je studie od Petersen et al. zkoumající 5 různých druhů oleje. Proškolený panel hodnotitelů vyhodnotil po 1. až 5. smažení za nejlepší vzorek hranolky ze slunečnicového oleje s vysokým obsahem olejové kyseliny. Dále pak sestupně > slunečnicový olej, palmový tuk, olej řepkový, řepkový olej s vysokým obsahem olejové kyseliny (2013). V této diplomové práci bylo ale hlavním cílem prozkoumat vliv barevných brambor na obsah tokolů ve smažicím médiu. Proto byl vybrán olej řepkový, který má vyšší obsah tokolů a je pro českou kuchyni běžný.

### 6.2 Experiment III: Schaalův test

Výsledky Schaal testu poskytují informace o kvalitě a stálosti oleje, což je klíčové pro výběr správného oleje pro vaření a fritování a pro zajištění bezpečnosti a kvality potravin. Výsledky této diplomové práce naznačují, že opakované použití řepkového oleje při smažení vede k jeho větší degradaci, což má za následek zkrácení indukčního periody a snížení protekčního faktoru.

U fialových brambor bylo pozorováno, že zlepšily vlastnosti smaženého řepkového oleje. I po pátém smažení protekční faktor neklesl pod hodnotu

nesmaženého oleje, ale zůstal stejný. Žluté brambory měly vliv na zhoršení stability a kvality oleje. K obdobným závěrům došel i ve své studii Soukup et al., i přes to, že byly použito ve studii pro smažení jiné smažicí médium (vepřové sádlo). Všechny 3 odrůdy fialových brambor (Valfi, Blue Star, Val Blue) měly delší indukční periodu oproti smažicímu médiu pro žluté hranolky (2021).

Nejen odrůda brambor by mohla zlepšit stabilitu fritovacího média. Studie od Allam et al., která se zabývala měřením směsi oleje řepkového a palmového tuku v odlišném poměru došla k závěru, že se zvyšujícím se poměrem oleje palmového k řepkovému došlo k prodloužení indukční periody (2023). Důležité ovšem je zmínit, že diplomová práce se snažila nastínit částečně domácí podmínky smažení a v případě takovýchto směsí olejů se v současné době nejedná o běžné dostupné oleje v supermarketech či jiném potravinových řetězcích.

### 6.3 Experiment IV: HPLC

S přibývajícimi smaženími v téže várce oleje došlo při analýze v diplomové práci k poklesu  $\alpha$ -tokoferolu,  $\gamma$ -tokoferolu,  $\beta$ -tokotrienolu a  $\delta$ -tokotrienolu. Po pátém smažení došlo někde i k více jak polovičnímu úbytku. Větší úbytek zaznamenal řepkový olej, v kterém byly smaženy brambory žluté. Odrůda fialových brambor díky vyššímu obsahu látek s antioxidační aktivitou dodala smažení vyšší stabilitu oleje, prodloužila jeho degradaci a tím nedošlo k takovému úbytku tokolů. Tyto benefity fialových brambor zaznamenala studie Ru et al. (2019) se 14 odrůdami a různě barevnými druhy dužin. V závěru této práce se ukázalo, že brambory s fialovou a červenou dužninou mají větší celkový obsah fenolových látek než ty s dužninou žlutou a bílou. Tím se pravděpodobně inhibuje oxidace lipidů.

Z vyhodnocení relativního úbytků obsahů tokolů vychází, že  $\delta$ -tokotrienol začal ubývat až po 4. smažení žlutých brambor a po 5. smažení brambor fialových. Tento jev se shoduje se studií Mba et al. (2017) zabývající se termostabilitou a kinetikou degradace tokochromanolů a karotenoidů v palmovém tuku, řepkovém oleji a jejich směsích během fritování. Nejnižší míra zhoršování byla zaznamenána u karotenoidů a  $\delta$ -tokotrienolu.

Hodnoty u nesmaženého řepkového oleje v této práci pohybovaly mezi 145,78–151,71 mg  $\alpha$ -tokoferolu/kg, což se shoduje se studii, kde byl jeho obsah v rozmezí 103,4–305,4 mg/kg (Gliszczyńska-Świgło et al., 2007; Gogolewski et al., 2000; Fang et al., 2017; Kmiecik et al., 2020; Xie et al., 2021). Tokoferoly, které se nenaváží na alfa-TTP, jsou v játrech rozkládány jaterní  $\omega$ -hydroxylázou (EFSA, 2017). Význam obsahu  $\alpha$ -tokoferolu je z důvodu  $\alpha$ -tokoferolového

transferového proteinu, který upřednostňuje vázání  $\alpha$ -tokoferolu před jinými formami tokoferolů nebo tokotrienolů (EFSA, 2017).

Když se zaměříme na odlišnost úbytků  $\alpha$ -tokoferolu,  $\beta$ -tokoferolu a  $\gamma$ -tokoferolu, tak ze studie Gordona & Kouřimské vyplývá, že na čistém řepkovém oleji byl největší úbytek  $\alpha$ -tokoferolu >  $\beta$ -tokoferolu a nejméně ubýval  $\gamma$ -tokoferol (1995). Stejně tak tomu bylo v této diplomové práci. Relativní úbytek  $\alpha$ -tokoferolu byl nejvyšší ze všech tokolů, a byl nižší u řepkového oleje po smažení fialových brambor (snížení ze 100 % na 48,2 %) než u žlutých brambor (snížení ze 100 % na 28,1 %). Relativní změny  $\gamma$ -tokoferolu byly menší, u fialových brambor se jednalo o snížení na 70,7 % a u žlutých na 53,4 %. Je tedy znát, že je při smažení  $\alpha$ -tokoferol spotřebován výrazně rychleji než ostatní tokoferoly. Pro zpomalení úbytku nejen  $\alpha$ -tokoferolu bylo ve studii Gordona & Kouřimské navrženo přidání rozmarýnového extraktu nebo askorbylpalmitátu (1995).

## 7 ZÁVĚR

Obsah tokoferolů a tokotrienolů v řepkovém oleji se měnil v závislosti na počtu smažení a typu brambor. Nejvýznamnější vliv na obsah  $\alpha$ -tokoferolu měl počet smažení, zatímco obsah  $\beta$ -tokotrienolu byl nejcitlivější na interakci obou faktorů. Nejmenší relativní úbytek byl zaznamenán u  $\delta$ -tokotrienolu. Celkový úbytek byl nižší u oleje po smažení fialových brambor, které díky obsahu biologicky aktivních látek s antioxidační aktivitou pravděpodobně inhibovaly oxidaci lipidů.

Výsledky také ukazují, že řepkový olej byl více narušen s opakovaným použitím při smažení žlutých brambor, což vedlo k poklesu indukční periody a protekčního faktoru. Fialové brambory zlepšily vlastnosti smaženého oleje a nebyl u nich pozorován pokles protekčního faktoru ani po pátém smažení, na rozdíl od žlutých brambor.

Výsledky od jednotlivých hodnotitelů, kteří hodnotili bramborové hranolky, se v některých parametrech výrazně lišily. Významné rozdíly v závislosti na interakce typu brambor a počtu smažení nebyly zjištěny ve vzhledu, barvě, smažené chuti, žluklosti, pachuti a celkové chuti. Nicméně, pokud se zaměříme na rozdíly mezi žlutými a fialovými bramborami, byly zjištěny významné rozdíly ve vzhledu, barvě, křupavosti a skousnutí. U smažené chuti, žluklosti, pachuti a celkové chuti nejsou statisticky významné rozdíly v závislosti na odrůdě brambor. Počet smažení byl silnější faktorem, jak odrůda či interakce obou, pouze u hodnocení žluklosti. Hodnotitelům připadala žluklost stejně intenzivní u fialových hranolků jako u žlutých. Pro přesnější výstupy by bylo určitě vhodné mít proškolený panel s více hodnotiteli. V této diplomové práci byl senzorický panel pouze tříčlenný a částečně zaškolený, takže lze výstupy ze senzoriky považovat pouze za orientační.

Nejen z této diplomové práce vyplývá, že obsah fenolových antioxidantů ve fialových bramborách přispívá antioxidační aktivitou při smažení. Bylo by dobré zjistit, co přesně dělají tyto fenoly. Kolik jich je v bramborách? Zdali přecházejí do smažicího média a případně v jakém množství? Praktický přínos by z benefitů fialových brambor mohly mít i podniky (restaurace, jídelny, fastfoody, ...), kterým by se prodloužila doba degradace smažicího média, a tudíž i nutná obměna než v případě použití žlutých brambor. Ekonomický přínos by se projevil v ušetření smažicího média, které by se dalo používat na více opakovaných smažení.

V závěru lze konstatovat, že jak kvalita smaženého oleje, tak i obsah tokoferolů a tokotrienolů jsou významně ovlivněny odrůdou brambor stejně jako počtem smažení.



## 8 LITERATURA

- Agarwal, D., Mui, L., Aldridge, E., McKinney, J., Hewson, L., & Fisk, I. D. 2021. The progression of lipid oxidation,  $\beta$ -carotenes degradation and sensory perception of batch-fried sliced sweet potato crisps during storage. *Food & Function* **12**:4535–4543.
- Aksoz, E., Korkut, O., Aksit, D., & Gokbulut, C. 2020. Vitamin E ( $\alpha$ -,  $\beta$  +  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherol) levels in plant oils. *Flavour and Fragrance Journal* **35**:504–510.
- Allam, A. Y., Khan, Z. S., Bhat, M. S., Naik, B., Wani, S. A., Rustagi, S., Aijaz, T., Farouk, M., & Chen, T.-W. 2023. Chemical, Physical, and Technological Characteristics of Palm Olein and Canola Oil Blends. *Research Article Chemical, Physical* **2023**:1–17.
- Alvarez, M. D., Morillo, M. J., & Canet, W. 2000. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. *European Food Research and Technology* **211**(5):326–335.
- Azzi, A. 2018. Many tocopherols, one vitamin E. *Molecular Aspects of Medicine*, **61**:92–103.
- Bhavaniramy, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., Vijayakumar, R., & Baskaran, D. 2019. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. *Grain & Oil Science and Technology* **2**(2):49–55.
- Brassard, D., Tessier-Grenier, M., Allaire, J., Rajendiran, E., She, Y., Ramprasath, V., Gignoux, I., Talbot, D., Levy, E., Tremblay, A., Jones, P. J., Couture, P., & Lamarche, B. B. 2017. Comparison of the impact of SFAs from cheese and butter on cardiometabolic risk factors: a randomized controlled trial 1-3. *American Society for Nutrition* **105**:800–809.
- Brown, C. R. 2005. Invited Review Antioxidants in Potato. *Amer J of Potato Res* **82**:163.
- Bvenura, C., Witbooi, H., & Kambizi, L. 2022. Pigmented Potatoes: A Potential Panacea for Food and Nutrition Security and Health?. *Foods* **11**(2):175–200.
- Chen, J., Zhang, L., Geng, Q., Jing, B., & Yu, X. 2018. Determination of Total Polar Compounds in Frying Oils by PE-Film-Based FTIR and ATR-FTIR Spectroscopy, *European Journal of Lipid Science and Technology* **120**(12):180–205.
- Chen, X. W., Li, X. X., Hu, Q. H., Sun, S. De, & Wan, Z. L. 2023. Multifactorial revealing the association between components and lipid oxidation of edible vegetable oils in bulk and emulsion systems. *LWT* **183**:884–909.
- Choe, E., & Min, D. B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science* **72**(5):77–86.

- Clement, L., Boylan, M., Miller, V., Driskell, J., Giraud, D., & Subih, H. 2012. Vitamin B-6 Vitamer Levels in Plasma and Related Symptoms in Hemodialysis Subjects Taking low- and High-Dose Renal Multivitamin Supplements. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* **82**(2):130–136.
- Dash, K. K., Sharma, M., & Tiwari, A. 2022. Heat and mass transfer modeling and quality changes during deep fat frying: A comprehensive review. *Journal of Food Process Engineering* (e13999) doi.org/10.1111/JFPE.13999.
- Derewiaka, D., Sosińska, E., Obiedziński, M., Krogulec, A., & Czaplicki, S. 2011. Determination of the adulteration of butter. *European Journal of Lipid Science and Technology* **113**(8):1005–1011.
- EFSA. 2017. Dietary Reference Values for nutrients Summary report. EFSA Supporting Publications, **14**(12).
- Ehsani, A., Khezerlou, A., Alizadeh-Sani, M., & Firouzsalar, N. Z. 2018. Formation, Properties, and Reduction Methods of Acrylamide in Foods: A Review Study. *Nutrition Fasting Health* **6**(1):52–59.
- Etsuo, N., & Kouichi, A. 2019. Vitamin E: Structure, Properties and Functions. Royal Society of Chemistry, London.
- Evans, H. M., & Scott Bishop, K. 1922. On the existence of a hitherto unrecognized dietary factor essential for reproduction<sup>1</sup>. *Science* **1**(1458):650–651.
- Evropská komise. 2017. Nařízení komise (EU) 2017/2158 ze dne 20. listopadu 2017, kterým se stanoví zmírňující opatření a porovnávací hodnoty pro snížení přítomnosti akrylamidu v potravinách. In Brusel.
- Fang, B., Zhang, M., Yue, & Shen, M. 2017. Importance of the higher retention of tocopherols and sterols for the oxidative stability of soybean and rapeseed oils. *Journal of Food Science and Technology* **54**:1938–1944.
- Gertz, C. 2014. Fundamentals of the frying process\*. *European Journal of Lipid Science and Technology* **116**(6):669–674.
- Gholamibozanjani, G., Ying Leong, S., Oey, I., Bremer, P., Silcock, P., & Farid, M. 2021. Heat and Mass Transfer Modeling to Predict Temperature Distribution during Potato Frying after Pre-Treatment with Pulsed Electric Field. *Foods* **10**(8):1679–1695.
- Gö, K. R., Wenk, C., & Scheeder, M. R. 2004. Evaluation of pork backfat firmness and lard consistency using several different physicochemical methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture J Sci Food Agric* **84**:853–862.
- Gliszczyńska-Świgło, A., Sikorska, E., Khmelinskii, I., & Sikorski, M. 2007. Tocopherol content in edible plant oils. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **57**(4A):157–161.

- Gogolewski, M., Nogala-Kalucka, M., & Szeliga, M. 2000. Changes of the tocopherol and fatty acid contents in rapeseed oil during refining. *European Journal of Lipid Science and Technology* **102**(10):618–623.
- Gordon, M. H., & Kouřimská, L. 1995. Effect of antioxidants on losses of tocopherols during deep-fat frying. *Food Chemistry* **52**(2):175–177.
- Gruszka, J., & Kruk, J. 2007. RP-LC for Determination of Plastochromanol, Tocotrienols and Tocopherols in Plant Oils. *Chromatographia* **66**(11–12):909–913.
- Gunstone, F. D., Harwood, J. L., & Dijkstra, A. J. 2007. *The Lipid Handbook*. CRC Press, New Your.
- Habarakada, Perumpuli, P. A. B. N., Thathsarane, W. T. V, & Wanninaika, I. P. 2021. Physical, chemical, and nutritional quality parameters of three different types of oil: determination of their reusability in deep frying, *Journal Homepage* **5**(5):226–235.
- Hale, A. L. 2003. Screening potato genotypes for antioxidant activity, identification of the responsible compounds, and differentiating russet norkotah strains using aflp and microsatellite marker analysis [Dissertation]. Office of Graduate Studies of Texas A&M University, Texas.
- He, J., Evans, G., Byer, G., Taylor, G., Clarkson, P., & Yell, V. 2021. Improving oil stability in deep-fried snack production: A case study. *Journal of Food Processing and Preservation* (e15119) doi.org/10.1111/JFPP.15119.
- Hosseini, H., Ghorbani, · Mohammad, Meshginfar, N., Alireza, ·, & Mahoonak, S. 2016. A Review on Frying: Procedure, Fat, Deterioration Progress and Health Hazards; A Review on Frying: Procedure, Fat, Deterioration Progress and Health Hazards. *J Am Oil Chem Soc* **93**:445–466.
- Jaggan, M., Mu, T., & Sun, H. 2020. The effect of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars on the sensory, nutritional, functional, and safety properties of French fries. *Journal of Food Processing and Preservation* (e14912) doi.org/10.1111/JFPP.14912.
- Kmiecik, D., Fedko, M., Rudzík Nska, M., Siger, A., Gramza-Michałowska, A., & Kobus-Cisowska, J. 2020. Thermo-Oxidation of Phytosterol Molecules in Rapeseed Oil during Heating: The Impact of Unsaturation Level of the Oil. *Foods* **10**(1):50–64.
- Lachman, J., Hamouz, K., & Orsák, M. 2005. Red and Purple Potatoes - A Significant Antioxidant Source in Human Nutrition. *Chemické Listy* **99**(7): 474–482.
- Lachman, J., Hamouz, K., & Orsák, M. 2016. Colored Potatoes. Pages 249–281 in Elsevier, editors. *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Czech University of Life Sciences, Prague.

- Li, J., Li, X., Cai, W., & Liu, Y. 2016. Comparison of different polar compounds-induced cytotoxicity in human hepatocellular carcinoma HepG2 cells. *Lipids in Health and Disease* **15**(1):1–6.
- Livingstone, K. M., Lovegrove, J. A., & Givens, D. I. 2012. The impact of substituting SFA in dairy products with MUFA or PUFA on CVD risk: evidence from human intervention studies. *Nutrition Research Reviews* **25**(2):193–206.
- Maszewska, M., Florowska, A., Marciniak-Lukasiak, K., & Zbikowska, A. 2018. Oxidative Stability of Selected Edible Oils. *Molecules* **27**(7):1746–1758.
- Mba, O. I., Dumont, M.-J. E., & Ngadi, M. 2017. Thermostability and degradation kinetics of tocochromanols and carotenoids in palm oil, canola oil and their blends during deep-fat frying. *LWT - Food Science and Technology* **82**:131–138.
- Mba, O. I., Dumont, M.-J., & Ngadi, M. 2018. Characterization of tocopherols, tocotrienols and total carotenoids in deep-fat fried French fries. *Journal of Food Composition and Analysis* **69**:78–86.
- Mohammadi Hosseinabadi, S., & Nasrollahzadeh, J. 2022. Effects of diets rich in ghee or olive oil on cardiometabolic risk factors in healthy adults: a two-period, crossover, randomised trial. *British Journal of Nutrition* **128**(9):1720–1729.
- Molina-Garcia, L., Santos, C S P, Cunha, S C, Casal, S, & Fernandes, J O. 2017. Comparative Fingerprint Changes of Toxic Volatiles in Low PUFA Vegetable Oils Under Deep Frying; Comparative Fingerprint Changes of Toxic Volatiles in Low PUFA Vegetable Oils Under Deep Frying. *J Am Oil Chem Soc* **94**:271–284.
- Ngobese, N. Z., & Workneh, T. S. 2018. Potato (*Solanum tuberosum L.*) nutritional changes associated with French fry processing: Comparison of low-temperature long-time and high-temperature short-time blanching and frying treatments. *LWT* **97**:448–455.
- Oke, E. K., Idowu, M. A., Sobukola, O. P., Adeyeye, S. A. O., & Akinsola, A. O. 2018. Frying of Food: A Critical Review. *Journal of Culinary Science & Technology* **16**(2):107–127.
- Packer, L., Weber, S. U., & Rimbach, G. 2001. Symposium: Molecular Mechanisms of Protective Effects of Vitamin E in Atherosclerosis Molecular Aspects of Tocotrienol Antioxidant Action and Cell Signalling 1. *J. Nutr* **131**:369–373.
- Pasini, F., Marzocchi, S., Ravagli, C., Cuomo, F., Messia, M. C., Marconi, E., & Caboni, M. F. 2024. Effect of replacing olive oil with oil blends on physicochemical and sensory properties of taralli. *International Journal of Food Science & Technology* **59**(4):2697–2706.

- Passos, C. P., Ferreira, S. S., Serôdio, A., Basil, E., Marková, L., Kukurová, K., Ciesarová, Z., & Coimbra, M. A. 2018. Pectic polysaccharides as an acrylamide mitigation strategy – Competition between reducing sugars and sugar acids. *Food Hydrocolloids* **81**:113–119.
- Pedreschi, F. 2012. Frying of Potatoes: Physical, Chemical, and Microstructural Changes. *Drying Technology* **30**(7):707–725.
- Petersen, K. D., Jahreis, G., Busch-Stockfisch, M., & Fritsche, J. 2013. Chemical and sensory assessment of deep-frying oil alternatives for the processing of French fries. *European Journal of Lipid Science and Technology* **115**(8):935–945.
- Petukhov, I., Malcolmson, L. J., Przybylski, R., & Armstrong, L. 1999. Frying performance of genetically modified canola oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **76**(5):627–632.
- Ramadan, M. F., & Oraby, H. F. 2016. Fatty acids and bioactive lipids of potato cultivars: An overview. *Journal of Oleo Science* **65**(6):459–470.
- Ru, W., Pang, Y., Gan, Y., Liu, Q., & Bao, J. 2019. Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Potato Cultivars with White, Yellow, Red and Purple Flesh. *Antioxidants* **8**(10):419–430.
- Sabolová, M., Fišnar, J., & Réblová, Z. 2023. Vitamin E – Recommended and Actual Intake. *Chemické Listy* **117**(11):677–683.
- Schevey, T. C., & Brewer, M. S. 2015. Effect of Natural Antioxidants and Lipid Model System on Lipid Oxidation. *Journal of Food Quality* **38**(1):40–52.
- Schneider, S. 2014. Quality Analysis of Virgin Olive Oils-Part 4. Pages 1–6 in Agilent Technologies Application Note, publication number. USA.
- Schwartz, H., Ollilainen, V., Piironen, V., & Lampi, A.-M. 2008. Tocopherol, tocotrienol and plant sterol contents of vegetable oils and industrial fats. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**(2):152–161.
- Siger, A., & Górnas, P. 2023. Free tocopherols and tocotrienols in 82 plant species' oil: Chemotaxonomic relation as demonstrated by PCA and HCA. *Food Research International* **164**:112–386.
- Soukup, J., Kouřimská, L., & Sabolová, M. 2021. Změny lipidů při zpracování a skladování potravin z hlediska jejich nutriční a sensorické jakosti. [disertační práce]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Sýkorová, E. 2017. Vliv vybraných faktorů na kvalitu bramborových hranolek - inovace laboratorních cvičení. [diplomová práce]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín.
- Touffet, M., Trystram, G., & Vitrac, O. 2020. Revisiting the mechanisms of oil uptake during deep-frying. *Food and Bioproducts Processing* **123**:14–30.
- VELÍŠEK, J., & HAJŠLOVÁ Jana. 1999. *Chemie potravin*. OSSIS, Praha.

- Verardo, V., Garcia-Salas, P., Baldi, E., Segura-Carretero, A., Fernandez-Gutierrez, A., & Caboni, M. F. 2014. Pomegranate seeds as a source of nutraceutical oil naturally rich in bioactive lipids. *Food Research International* **65**:445–452.
- Wroniak, M., Raczyk, M., Kruszewski, B., Symoniuk, E., & Dach, D. 2021. Effect of Deep Frying of Potatoes and Tofu on Thermo-Oxidative Changes of Cold Pressed Rapeseed Oil, Cold Pressed High Oleic Rapeseed Oil and Palm Olein. *Antioxidants* **10**(10):16–37.
- Xie, Q., Xia, M., Sun, D., Cao, J., Xiao, Y., Lin, M., Hou, B., Jia, L., & Li, D. 2021. Deep eutectic solvent-based liquid-phase microextraction coupled with reversed-phase high-performance liquid chromatography for determination of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ -tocopherol in edible oils. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **413**(2):577–584.
- Xu, L., Wu, G., Ji, X., Zhang, H., Jin, Q., & Wang, X. 2021. Influence of Prolonged Deep-Frying Using Various Oils on Volatile Compounds Formation of French Fries Using GC–MS, GC-O, and Sensory Evaluation. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **98**(6):657–671.
- Yamsaengsung, R., & Moreira, R. G. 2002. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* **53**(1):1–10.
- Zeb, A. 2020. Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *Journal of Food Biochemistry* (e13394) doi.org/10.1111/jfbc.13394
- Zhang, H., Gao, P., Fang, H., Zou, M., Yin, J., Zhong, W., Luo, Z., Hu, C., He, D., & Wang, X. 2023. High-oleic rapeseed oil quality indicators and endogenous antioxidant substances under different processing methods. *Food Chemistry: X* **19**:26–42.
- Zingg, J. 2019. Vitamin E: Regulatory Role on Signal Transduction. *IUBMB Life* **71**(4):456–478.

## 9 SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY

### Příloha 1: Senzorický dotazník

#### HODNOCENÍ SMAŽENÝCH BRAMBOROVÝCH HRANOLKŮ

Jméno a příjmení:

Číslo vzorku:

Datum měření:

Zdravotní stav: v pořádku/mírné omezení

Léky: ano/ne

Kuřák/řčka: ano/ne

ÚKOL: pozorujte a ochutnejte předložené hranolky, sousto dobře rozžvýkejte a ohodnoňte na grafické stupnici.

#### VZHLED

Velmi špatný |-----| Vynikající

#### BARVA

Špatná |-----| Vynikající

#### KŘUPAVOST

Zcela vláčný |-----| Křupavý

#### ZVUKY PŘI PRVNÍM SKOUSNUTÍ

Neslyšitelné |-----| Velmi silné

#### CHUŤ CELKOVĚ

Velmi špatná |-----| Vynikající

#### INTENZITA SMAŽENÉ CHUTI

Velmi silná |-----| Neznatelná

#### ŽLUKLÁ PŘÍCHUŤ

Neznatelná |-----| Převládající

#### INTENZITA PACHUTÍ CELKOVĚ

Neznatelná |-----| Velmi silná

**Příloha 2:** Senzorické hodnocení smažených fialových i žlutých brambor

Brambora	Počet smažení	Vzhled	Barva	Křupavost	Skousnutí	Chuť	Smažené chuti	Žluklost	Pachutě
P	1	15	15	55	43	83	83	5	10
P	1	70	70	80	50	80	10	0	0
P	1	50	30	65	55	50	20	0	0
P	2	18	18	48	24	53	80	6	10
P	2	20	15	20	20	40	30	60	50
P	2	83	70	60	30	85	38	0	0
P	3	9	9	38	23	18	55	0	14
P	3	30	40	40	20	30	50	60	60
P	3	42	40	55	48	50	50	0	0
P	4	60	70	79	70	62	73	19	20
P	4	80	80	80	70	60	70	20	20
P	4	95	95	70	70	90	25	0	0
P	5	58	58	63	40	38	72	78	53
P	5	30	40	70	50	30	30	60	60
P	5	73	73	50	40	62	18	0	0
Y	1	65	40	8	8	70	92	0	0
Y	1	40	40	20	30	50	70	0	4
Y	1	90	95	5	23	78	50	0	0
Y	2	90	90	10	3	68	92	0	5
Y	2	70	60	20	30	50	60	0	10
Y	2	90	80	20	23	100	50	0	0
Y	3	75	33	0	2	50	78	3	10
Y	3	50	50	10	10	40	70	70	20
Y	3	90	90	40	50	93	44	0	0
Y	4	95	95	42	41	79	93	17	16
Y	4	70	70	30	10	60	30	60	30
Y	4	80	80	50	37	80	20	0	0
Y	5	68	63	9	8	60	70	10	18
Y	5	50	50	0	10	40	70	20	30
Y	5	65	60	34	30	80	40	0	0

Y – žluté brambory

P – fialové brambory



**Příloha 3:** Relativní změny hmotnosti řepkového oleje po smažení hranolků ze fialových brambor

<i>NESMAŽENÉ</i> P00	<i>1.smažení</i> P01	<i>2. smažení</i> P02	<i>3. smažení</i> P03	<i>4. smažení</i> P04	<i>5. smažení</i> P05
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-0,0005	-0,0001	-0,0002	-0,0002	-0,0001	-0,0008
-0,0002	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	-0,0003
0,0004	0,0011	0,0010	0,0009	0,0009	0,0002
0,0013	0,0020	0,0018	0,0017	0,0016	0,0011
0,0020	0,0025	0,0024	0,0024	0,0022	0,0018
0,0045	0,0042	0,0040	0,0040	0,0035	0,0035
0,0064	0,0056	0,0053	0,0053	0,0046	0,0049
0,0080	0,0067	0,0064	0,0068	0,0065	0,0062
0,0108	0,0099	0,0092	0,0092	0,0083	0,0084
0,0130	0,0120	0,0112	0,0112	0,0102	0,0103
0,0136	0,0131	0,0122	0,0125	0,0114	0,0111
0,0149	0,0144	0,0136	0,0134	0,0126	0,0125
0,0157	0,0154	0,0144	0,0143	0,0135	0,0133
0,0172	0,0174	0,0163	0,0160	0,0155	0,0150
0,0175	0,0180	0,0168	0,0167	0,0157	0,0161
0,0183	0,0188	0,0178	0,0176	0,0171	0,0165
0,0186	0,0192	0,0186	0,0184	0,0179	0,0172
0,0193	0,0200	0,0188	0,0187	0,0186	0,0175
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

**Příloha 4:** Relativní změny hmotnosti řepkového oleje po smažení hranolků ze žlutých brambor

<i>NESMAŽENÉ</i> Y00	<i>1.smažení</i> Y01	<i>2. smažení</i> Y02	<i>3. smažení</i> Y03	<i>4. smažení</i> Y04	<i>5. smažení</i> Y05
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-0,0005	0,0000	0,0001	0,0000	-0,0001	-0,0004
-0,0001	0,0008	0,0009	0,0006	0,0005	0,0002
0,0005	0,0020	0,0021	0,0013	0,0015	0,0015
0,0013	0,0046	0,0071	0,0026	0,0055	0,0046
0,0027	0,0091	0,0108	0,0056	0,0086	0,0083
0,0072	0,0129	0,0140	0,0092	0,0111	0,0116
0,0093	0,0143	0,0150	0,0108	0,0122	0,0129
0,0118	0,0154	0,0156	0,0115	0,0128	0,0139
0,0133	0,0166	0,0169	0,0139	0,0144	0,0151
0,0144	0,0173	0,0175	0,0150	0,0152	0,0159

**Příloha 5:** Hmotnosti jednotlivých tokolů v řepkovém oleji po smažení fialových a žlutých brambor [mg/kg]

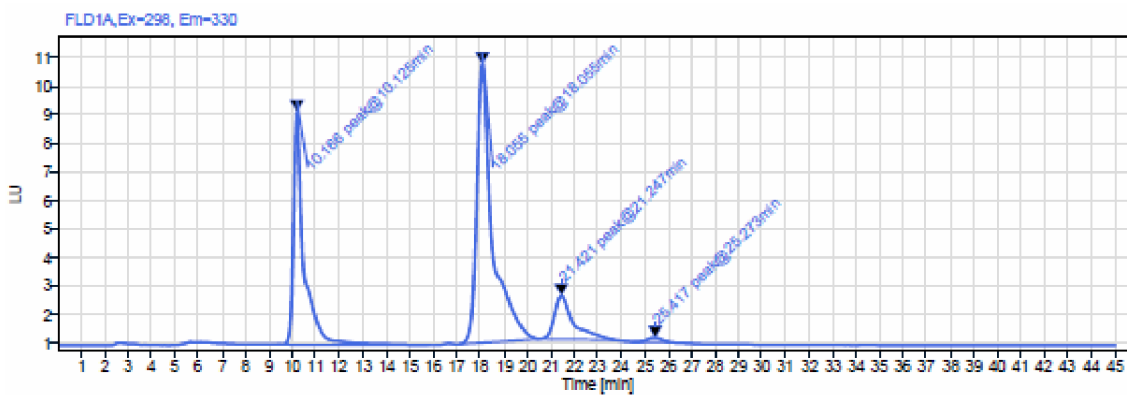
<b>Brambora</b>	<b>Počet smažení</b>	<b><math>\alpha</math>-Tocopherol</b>	<b><math>\gamma</math>-Tocopherol</b>	<b><math>\beta</math>-Tocotrienol</b>	<b><math>\delta</math>-Tocopherol</b>
P	0	155,34	155,82	46,06	1,92
P	0	140,43	144,85	46,49	1,96
P	0	141,56	145,50	46,03	1,93
P	1	144,46	153,47	50,29	1,82
P	1	132,73	140,02	42,02	1,97
P	1	135,29	144,33	44,04	1,93
P	2	124,29	141,40	45,04	1,69
P	2	95,63	120,38	32,89	2,01
P	3	114,44	135,26	39,24	1,76
P	3	105,40	126,88	33,66	2,04
P	3	105,29	128,71	35,03	2,02
P	4	96,83	132,44	33,83	2,27
P	4	93,53	120,75	32,45	2,12
P	4	92,50	122,15	33,68	2,23
P	5	75,36	112,18	28,58	1,95
P	5	70,84	103,06	24,10	2,04
P	5	64,67	97,65	25,26	1,84
Y	0	166,01	169,12	55,83	1,51
Y	0	148,35	149,46	43,01	2,04
Y	0	140,76	152,75	45,49	2,02
Y	1	117,04	148,34	42,41	2,02
Y	1	93,91	220,98	33,77	2,19
Y	1	96,67	132,08	36,75	2,20
Y	2	128,17	143,51	42,83	1,90
Y	2	115,32	131,92	38,90	2,15
Y	2	112,83	133,01	38,06	1,86
Y	3	83,74	111,26	32,23	2,01
Y	3	71,17	101,71	28,82	1,93
Y	3	69,24	102,77	28,14	1,94
Y	4	73,67	121,16	33,80	1,92
Y	4	56,67	94,80	25,31	2,04
Y	4	54,40	94,45	24,46	1,95
Y	5	44,88	85,79	23,67	1,58
Y	5	41,00	82,12	21,99	1,73
Y	5	42,44	84,59	19,94	1,88

Y – žluté brambory      P – fialové brambory

**Příloha 6: Ukázka chromatogramu z HPLC analýzy nesmaženého řepkového oleje**

**Single Injection Report** 

**Sample name:**  
**Data file:** 2023-12-18 16-00-42+01-00-05.dx **Operator:** SYSTEM  
**Instrument:** LC1260 FLD **Injection date:** 2023-12-18 16:02:17+01:00  
**Inj. volume:** 10.000 **Location:** P1-A5  
**Acq. method:** Tocopherols\_test.amx **Type:** Sample  
**Processing method:** \*GC\_LC Quantitative\_DefaultMethod.pmx **Calib Level:** 1  
**Sample amount:** 0.00  
**Manually modified:** Manual Integration



Signal: FLD1A, Ex=298, Em=330

Name	RT [min]	RF	Area	Amount	Concentration	Group
peak@10.125min	10.17		250.999			
peak@18.055min	18.05		452.152			
peak@21.247min	21.42		85.497			
peak@25.273min	25.42		5.268			
<b>Sum</b>						