

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ŽIVILSTVO

Tanja POTOČNIK

**VPLIV DODATKA NARAVNIH ANTIOKSIDANTOV NA TVORBO
TRANS MAŠČOBNIH KISLIN MED TOPLOTNO OBDELAVO
SONČNIČNEGA OLJA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF NATURAL ANTIOXIDANTS ON FORMATION OF
TRANS FATTY ACIDS ISOMERS DURING HEAT TREATMENT OF
SUNFLOWER OIL**

GRADUATION THESIS
University study

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija živilske tehnologije. Vzorci olja so se segrevali v laboratorijski kuhinji pekarnice Pečjak v Trzinu. Kemijske analize so bile opravljene v laboratoriju Katedre za tehnologije, prehrano in vino na Oddelku za živilstvo, Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za živilstvo je za mentorja diplomske naloge imenovala prof. dr. Rajka Vidriha ter za recenzentko doc. dr. Natašo Šegatin.

Mentor: prof. dr. Rajko Vidrih

Recenzentka: doc. dr. Nataša Šegatin

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Tanja Potočnik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK UDK 664.33:641.522:543.635.3:577.1(043)=163.6
KG sončnično olje/toplotna obdelava olja /cvrenje/naravni antioksidanti/*trans* maščobne kisline/polarne spojine/konjugirani dieni/ekstrakt rožmarina/lutein
AV POTOČNIK, Tanja
SA VIDRIH, Rajko (mentor)/ŠEGATIN, Nataša (recenzentka)
KZ SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo
LI 2011
IN VPLIV DODATKA NARAVNIH ANTIOKSIDANTOV NA TVORBO *TRANS* MAŠČOBNIH KISLIN MED TOPLOTNO OBDELAVO SONČNIČNEGA OLJA
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP IX, 64 str., 27 pregl., 24 sl., 47 vir
IJ SL
JI sl/en
AI Namen diplomskega dela je bil preučiti vpliv dodatka naravnih antioksidantov (ekstrakt rožmarina, lutein) v različnih koncentracijah na nastanek *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo sončničnega olja. Oba antioksidanta smo dodali v treh različnih koncentracijah. Sončnično olje smo segrevali 120 h pri 160 °C, vsake 24 h smo v njem spekli krompir ter jemali vzorce olja. Maščobne kisline v vzorcih olja smo metilirali, *cis* in *trans* izomere frakcionirali z ekstrakcijo na trdni fazi (na koloni z vezanimi srebrovimi ioni) in maščobne kisline kvantitativno analizirali na GC kromatografu. Vzorcem olja smo izmerili delež polarnih spojin ter nastanek konjugiranih dienov ter trienov s pomočjo merjenja adsorbance. Dodatek obeh antioksidantov statistično značilno zavira nastanek *trans* maščobnih kislin. Dodatek antioksidanta preprečuje tvorbo *trans* maščobnih kislin v odvisnosti od koncentracije antioksidanta. Pri dodani večji koncentraciji antioksidanta nastane obratno-sorazmerno manj *trans* maščobnih kislin. Ta lastnost je zelo izrazita pri uporabi obeh antioksidantov. Dodatek antioksidantov prav tako zavira nastanek konjugiranih dienov ter trienov, ne zavira pa tvorbe polarnih komponent.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 664.33:641.522:543.635.3:577.1(043)=163.6
CX sunflower oil/heat treatment of oils/frying/natural antioxidants/*trans* fatty acids/polar compounds/conjugated dienes/rosemary extracts/lutein
AU POTOČNIK, Tanja
AA VIDRIH, Rajko (supervisor)/ŠEGATIN, Nataša (reviewer)
PP SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Food Science and Technology
PY 2011
TI INFLUENCE OF NATURAL ANTIOXIDANTS ON FORMATION OF *TRANS* FATTY ACIDS ISOMERS DURING HEAT TREATMENT OF SUNFLOWER OIL
DT Graduation Thesis (University studies)
NO IX, 64 p., 27 tab., 24 fig., 47 ref
LA SL
AL sl/en
AB The purpose of graduation thesis was to study the effect of natural antioxidants (rosemary extract, lutein) in different concentrations on the formation of *trans* fatty acids during heat treatment of sunflower oil. Both of antioxidants were added to oil in three different concentrations. Sunflower oil was heated to 160 °C for 120 h, every 24 h potatoes were fried and samples of oil and fried potatoes were taken for further analyses. Oil samples were analysed as fatty acid methyl esters prior extraction and separation on Ag ion cartridges in order to separate *cis* and *trans* fatty acid methyl ester isomers, which were then analysed on GC chromatograph. Beside fatty acids, polar compounds and conjugated dienes and trienes were also determined. The addition of both antioxidants statistically significantly prevents the formation of *trans* fatty acids. Both antioxidants prevent the formation of *trans* fatty acids as dependent by their concentration. Less *trans* fatty acids were formed when higher concentration of antioxidant was applied. This is characteristic for both antioxidants. Antioxidants also significantly reduced the formation of conjugated dienes and trienes but had no effect on the formation of polar compounds.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Okrajšave in simboli	IX

str.

1 UVOD	1
1.1 NAMEN DIPLOMSKE NALOGE	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 MAŠČOBE	3
2.1.1 Maščobne kisline	3
2.1.1.1 Nasičene in nenasičene maščobne kisline	4
2.1.2 Poimenovanje maščobnih kislin	5
2.1.3 Trans maščobne kisline	6
2.1.3.1 Prehranski pomen in vir trans maščobnih kislin	6
2.1.4 Učinki raznih maščobnih kislin na zdravje	8
2.1.5 Priporočila zauživanja maščob	9
2.2 SONČNIČNO OLJE	10
2.3 KEMIJSKE SPREMEMBE MAŠČOBNIH KISLIN	11
2.3.1 Spremembe med cvrenjem	11
2.3.2 Hidrogenacija maščob in olj	13
2.3.3 Oksidacijske reakcije	14
2.3.3.1 Avtooksidacija maščob	14
2.3.3.2 Avtooksidacija oleinske kisline	16
2.3.3.3 Avtooksidacija linolne kisline	16
2.4 ANTIOKSIDANTI	17
2.4.1 Delovanje antioksidantov	18
2.4.2 Rožmarin	18
2.4.3 Lutein	20
2.5 NASTANEK KONJUGIRANIH DIENOV IN TRIENOV	20
3 MATERIAL IN METODE	22
3.1 PRIPRAVA VZORCEV	22
3.2 DOLOČANJE MAŠČOBNIH KISLIN KOT METILNIH ESTROV	23
3.2.1 Frakcioniranje metilnih estrov maščobnih kislin z Ag-Ion SPE	23
3.3 DOLOČANJE POLARNIH KOMPONENT	25
3.4 DOLOČEVANJE KONJUGIRANIH DIENOV V UV OBMOČJU	26
3.5 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	26

4 REZULTATI	28
4.1 REZULTATI DOLOČANJA POLARNIH KOMPONENT V VZORCIH OLJA Z DODATKOM DVEH RAZLIČNIH ANTIOKSIDANTOV OB RAZLIČNIH ČASIH TOPLOTNE OBDELAVE.....	28
4.2 REZULTATI ANALIZ DOLOČANJA KONJUGIRANIH DIENOV.....	31
4.2.1 Merjenje absorbance pri 232 nm.....	31
4.2.2 Merjenje absorbance pri 268 nm.....	33
4.3 MAŠČOBNOKISLINSKA SESTAVA OLJA Z DODATKOM ANTIOKSIDANTOV PO RAZLIČNEM ČASU TOPLOTNE OBDELAVE.....	34
5 RAZPRAVA	50
5.1 SKLEPI	55
6 POVZETEK.....	58
7 VIRI.....	60
8 ZAHVALA.....	64

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pregled pomembnejših maščobnih kislin (Belitz in sod., 2009).....	5
Preglednica 2: Količinsko in fiziološko pomembne maščobne kisline hrane, njihov fiziološki učinek in vloga (Salobir, 2001).....	8
Preglednica 3 : Priporočila Svetovne zdravstvene organizacije za količino in kakovost maščob v prehrani odraslih (Salobir, 2001).....	9
Preglednica 4: Fizikalno-kemijske lastnosti sončničnega olja (O'Brien, 1998).....	11
Preglednica 5: Vrste kvara med segrevanjem olja (Vidmar in Oštrič-Matijašević, 1992).....	11
Preglednica 6: Potek frakcionacije po navodilih proizvajalca (Supelco, 2010).....	24
Preglednica 7: Delež polarnih komponent (%) v olju ob različnem času toplotne obdelave...	28
Preglednica 8: Delež polarnih komponent (%) v olju z dodatkom ekstrakta rožmarina v različnih koncentracijah ob različnem času toplotne obdelave.....	28
Preglednica 9: Delež polarnih komponent (%) v olju z dodatkom luteina v različnih koncentracijah ob različnem času toplotne obdelave.....	29
Preglednica 10: Specifični absorpcijski koeficient (232 nm).....	31
Preglednica 11: Specifični absorpcijski koeficient (268 nm).....	33
Preglednica 12: Vpliv vira variabilnosti na posamezno maščobno kislino.....	34
Preglednica 13: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) kontrole v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	35
Preglednica 14: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) kontrole z dodanim krompirjem v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	36
Preglednica 15: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim ekstraktom rožmarina (c= 2 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	37
Preglednica 16: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim ekstraktom rožmarina (c= 4 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	38
Preglednica 17: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim ekstraktom rožmarina (c= 10 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	39
Preglednica 18: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim luteinom (c= 0,1 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	41
Preglednica 19: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim luteinom (c= 0,2 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	42
Preglednica 20: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim luteinom (c= 0,5 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave.....	43
Preglednica 21: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 0 ur.....	43
Preglednica 22: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 24 ur.....	44
Preglednica 23: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 48 ur.....	46
Preglednica 24: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 72 ur.....	47
Preglednica 25: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja(g/100 g MK) ob času 120 ur.....	48
Preglednica 26: Povprečne vsebnosti <i>trans</i> izomere oleinske kisline tekom toplotne obdelave sončničnega olja ne glede na koncentracijo antioksidanta.....	49
Preglednica 27: Statistično značilno spreminjanje vsebnosti <i>trans</i> izomere oleinske kisline tekom toplotne obdelave sončničnega olja.....	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Nastanek triacilglicerola (Krečič-Stres, 2008).....	3
Slika 2: Shematski prikaz nenasičene maščobne kisline (Krečič-Stres, 2008).....	4
Slika 3: <i>Cis</i> in <i>trans</i> konfiguracija oleinske kisline (Belitz in sod., 2009).....	6
Slika 4: Glavni viri TMK v človeški prehrani (Filip in Vidrih, 2010).....	7
Slika 5: Sončnica (<i>Helianthus annuus</i>) (O'Brien, 1998).....	10
Slika 6: Mehanizem avtooksidacije oleinske kisline in nastanek hidroperoksidov (Frankel, 1998).....	16
Slika 7: Mehanizem avtooksidacije linolne kisline in nastanek hidroperoksidov (Frankel, 1998).....	16
Slika 8: Rožmarin (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) (Sasikumar, 2001).....	19
Slika 9: Kemijska struktura antioksidativnih komponent rožmarina a.) karnozolna kislina, b.) karnozol, c.) rožmanol, d.) metil karnozat, e.) rožmarinska kislina (Bezjak, 2004).....	19
Slika 10: Kemijska struktura luteina (Korošec, 2000).....	20
Slika 11: Nastanek konjugiranega diena (Domitrovič, 2010).....	21
Slika 12: Prikaz tvorbe interakcijskega kompleksa (Supelco, 2010).....	23
Slika 13: Delež polarnih komponent (%) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja, kontrola (♦), kontrola s krompirjem (■).....	30
Slika 14: Delež polarnih komponent (%) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja, vzorci olja z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah.....	30
Slika 15: Delež polarnih komponent (%) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja, vzorci olja z dodanim luteinom v različnih koncentracijah.....	30
Slika 16: Specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja; kontrola (♦), kontrola s krompirjem (■).....	32
Slika 17: Specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri vzorcih olja z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah.....	32
Slika 18: Specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri vzorcih olja z dodanim luteinom v različnih koncentracijah.....	32
Slika 19: Specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja; kontrola (♦), kontrola s krompirjem (■).....	33
Slika 20: Specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri vzorcih olja z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah.....	33
Slika 21: Specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri vzorcih olja z dodanim luteinom v različnih koncentracijah.....	33
Slika 22: Vsebnost TMK (g/100g MK) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja; kontrola (♦), kontrola s krompirjem (■).....	50
Slika 23: Vsebnost TMK (g/100g MK) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah.....	52
Slika 24: Vsebnost TMK (g/100g MK) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja z dodanim luteinom v različnih koncentracijah.....	52

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Ag	srebro
C	ogljik
EnNMK	enkrat nenasičena maščobna kislina
FFA	free fatty acid (prosta maščobna kislina)
GC	gas chromatography (plinska kromatografija)
MEMK	metilni ester maščobne kisline
MK	maščobna kislina
n-3/ ω -3	omega 3 maščobna kislina
n-6/ ω -6	omega 6 maščobna kislina
NeMK	nenasičena maščobna kislina
NMK	nasičena maščobna kislina
PMK	prosta maščobna kislina
SCX	strong cation exchange (močna kationska izmenjava)
SO	kontrolni vzorec
SOK	vzorec olja brez dodanega antioksidanta
SOL	vzorec olja z dodanim luteinom
SOR	vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina
SPE	solid phase extraction (ekstrakcija na trdni fazi)
TMK	<i>trans</i> maščobna kislina
VNMK	večkrat nenasičena maščobna kislina

1 UVOD

Čeprav visok vnos maščob vodi k resnim zdravstvenim težavam, je ključnega pomena, da so maščobe del naše vsakodnevne prehrane. Maščobe so bogat vir energije (pri njihovi oksidativni razgradnji se sprosti približno dvakrat več energije kot pri prebavi ogljikovih hidratov ali beljakovin), vir v maščobah topnih vitaminov (A, D, E in K), so dober izolator in sodelujejo pri termoregulacijskih procesih ter tvorijo pomembne dele celičnih membran. Nekatere maščobne kisline so esencialne, kar pomeni, da jih naš organizem sam ne more sintetizirati. Prav tako ni zanemarljivo, da maščobe prispevajo k edinstvenemu okusu in fizikalnim lastnostim, ki naredijo hrano potrošniku všečno.

Maščobe imajo tudi negativne lastnosti, zaradi česar jih je potrebno uživati v ravno pravih količinah in kar je še pomembneje, v ravno pravi sestavi glede na deleže posameznih maščobnih kislin. *Trans* maščobne kisline so se pokazale izredno uporabne zaradi znatno boljše oksidativne stabilnosti in nenazadnje tudi zaradi višje točke tališča. Zaradi omenjenih lastnosti se veliko uporabljajo pri izdelavi margarine, za cvrtje v fritezah ter kot dodatek v pekarstvu. Ena redkih negativnih lastnosti, ki se je pokazala po relativno dolgem času uporabe, je lastnost, da so *trans* maščobne kisline zdravju škodljive. V zadnjem času se *trans* maščobnim kislinam polaga velika pozornost, saj so z ustreznimi tehnološkimi postopki znižali vsebnost *trans* maščobnih kislin v polizdelkih pod 1 % glede na skupne maščobne kisline (Filip in Vidrih, 2010).

Proces cvrenja je na videz enostaven: olje se segreva na temperaturo 170–190 °C, pri čemer pride do hkratne izgube vode in absorpcije olja. Ta proces pa je z vidika spremembe kvalitete olja med cvrenjem zelo zapleten. Med segrevanjem nastanejo v olju hidrolitične, oksidacijske in termooksidacijske spremembe. Vse te reakcije povzročajo spremembe v sestavi olja in cel niz novonastalih spojin. Hkrati z oljem absorbira hrana tudi vse nastale spojine. Tako se postavlja vprašanje, katere od razgradljivih novih spojin olja lahko organizem tolerira v pripravljenei ocvrti hrani in v kakšni količini, ne da bi to škodovalo zdravju (Vidmar in Oštrič-Matijaševič, 1992).

Maščobne kisline so podvržene oksidativni razgradnji. Zato je kakovost maščob in maščobnih izdelkov odvisna tudi od inhibicije teh sprememb ter posredno od uporabe antioksidantov (Skvarča, 2000).

Ker se želimo prilagoditi današnjim trendom, je z zdravstvenega vidika bolje, če so antioksidanti naravnega izvora kot sta to ekstrakt rožmarina in lutein.

1.1 NAMEN DIPLOMSKE NALOGE

Cilj diplomske naloge je ugotoviti vpliv naravnih antioksidantov na nastanek *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo sončničnega olja. Uporaba naravnih antioksidantov vse pogosteje nadomešča sintetične antioksidante, zato bomo uporabili naravne antioksidante (lutein, ekstrakt rožmarina) z namenom preprečevanja negativnih sprememb olja predvsem nastanka *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo sončničnega olja.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

- Pričakujemo, da bo s podaljševanjem časa toplotne obdelave naraščala vsebnost *trans* maščobnih kislin,
- dodatek naravnih antioksidantov iz ekstrakta rožmarina in dodatek luteina bo zmanjšal nastanek *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo,
- nastanek *trans* maščobnih kislin je funkcija koncentracije antioksidanta.

2 PREGLED OBJAV

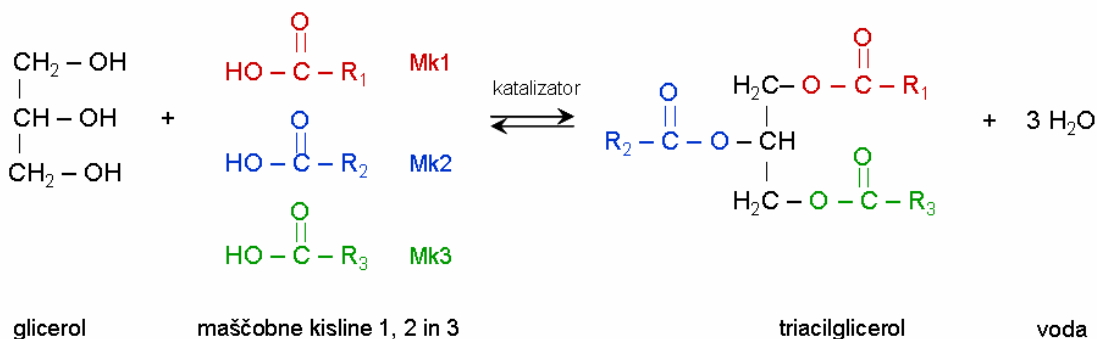
2.1 MAŠČOBE

Lipidi so široka in raznovrstna skupina v naravi prisotnih organskih spojin, za katere velja, da so topni v nepolarnih organskih topilih, v vodnih medijih pa večinoma ne.

Glede na strukturo delimo lipide v dve skupini:

- lipidi, ki imajo estrsko strukturo, kamor spadajo triacilgliceroli (masti, olja), glicerofosfolipidi (fosfogliceridi), sfingolipidi, glikolipidi in voski ter
- lipidi, ki niso estri, kamor uvrščamo steroide, terpene in prostaglandine (Krečič-Stres, 2008).

Eno izmed lipidnih podskupin sestavljajo masti in olja. To podskupino sestavljajo triestri maščobnih kislin z glicerolom. Ti t.i. trigliceridi ali triacilgliceroli so prisotni tako pri živalih kot pri rastlinah. So nepolarne hidrofobne molekule, saj v svoji strukturi ne vsebujejo močno polarnih spojin. Trigliceridi, ki se pri sobni temperaturi nahajajo v trdnem oz. poltrdnem stanju, spadajo med masti, in so prisotni večinoma pri živalih. Trigliceridi, ki se pri sobni temperaturi nahajajo v tekočem stanju, pa spadajo med olja, in so večinoma rastlinskega izvora (Belitz in sod., 2009).



Slika 1: Nastanek triacilglicerola (Krečič-Stres, 2008)

Če so vse tri hidroksilne skupine glicerola zaestrene z isto maščobno kislino, imenujemo ester preprost triacilglicerol. Takšne estre lahko sintetiziramo le v laboratoriju. V naravi najdemo samo mešane triacilglicerole.

2.1.1 Maščobne kisline

Značilna komponenta lipidov z estersko skupino so maščobne kisline (MK). Kisline se razlikujejo v številu C-atomov in številu dvojnih vezi. Maščobne kisline vsebujejo dolgo alkilno verigo, ki vsebuje 4–24 ogljikovih atomov. Kisline z višjim številom C-atomov so v trdnem stanju pri sobni temperaturi; njihova točka tališča narašča z večanjem števila C-atomov (Pokorny, 2006).

Maščobna kislina vsebuje eno samo polarno skupino tj. karboksilno skupino in dolgo nepolarno alkilno verigo. Zaradi takšne strukture so maščobne kisline netopne v vodi. V celici se ne nahajajo proste, ampak so vedno kovalentno vezane na glicerol, kot je vidno na Sliki 1 (Krečič-Stres, 2008).

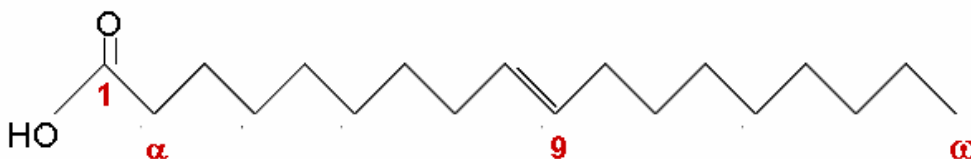
S pomočjo hidrolitskih reakcij so doslej izolirali vrsto maščobne kisline. Kisline se med seboj ločijo v dolžini alkilne skupine in v legi dvojne vezi. Ker se maščobne kisline sintetizirajo s povezovanjem enot z dvema ogljikovima atomoma (prekurzor je očetna kislina CH₃COOH oziroma njen aktivirani derivat acetil-koencim A), skoraj vse vsebujejo sodo število ogljikovih atomov. Pri hidrolizi naravnih triacilglicerolov tako dobimo maščobne kisline s sodim številom ogljikovih atomov. Najbolj pogosto najdemo v naravi kisline s 16 ali 18 ogljikovimi atomi (Krečič-Stres, 2008).

2.1.1.1 Nasičene in nenasičene maščobne kisline

Alkilna veriga kisline je lahko popolnoma nasičena, torej vsebuje samo enojne vezi, ali pa je nenasičena in vsebuje eno ali več dvojnih vezi. V splošnem so nenasičene maščobne kisline dvakrat bolj pogosto zastopane kot nasičene in to tako v živalskih kot v rastlinskih lipidih (Klofutar, 1992).

Nenasičene maščobne kisline s tremi ali več dvojnimi vezmi so zelo redke. Prisotnost oziroma odsotnost dvojnih vezi pa bistveno vpliva na fizikalne lastnosti olja oz. masti. Nenasičene maščobne kisline imajo nižjo točko tališča kot primerljive (tj. z istim številom ogljikovih atomov) nasičene in so boljše topne v organskih topilih. *Trans* nenasičene maščobne kisline imajo višjo točko tališča s primerljivimi *cis* izomerami (Pokorny, 2006).

Pri mononenasičenih maščobnih kislinah, kjer je prisotna ena dvojna vez, je ta običajno med atomoma ogljika na mestih 9 in 10 (pri čemer je C1 karboksilni ogljikov atom). Pri dinenasičenih maščobnih kislinah, kjer sta prisotni dve nenasičeni vezi, je druga vez najpogosteje na mestih C12 in C13. Maščobne kisline z dvema ali več dvojnimi vezmi imenujemo polinenasičene. Dvojne vezi so v naravnih maščobnih kislinah skoraj vedno v *cis* konfiguraciji (Belitz in sod., 2009).



Slika 2: Shematski prikaz nenasičene maščobne kisline – oleinske kisline. S črko α je označen prvi C-atom po C1 – karboksilnem C-atomu, s črko ω pa zadnji C-atom v verigi maščobne kisline (Krečič-Stres, 2008).

Polinenasičene maščobne kisline vsebujejo 2-6 dvojnih vezi. Možnih je veliko izomer, toda le nekaj je dejansko prisotnih v naravi. Njihova točka tališča sega pod 0 °C. Pri tem je

izjema le eleostearinska kislina – zaradi prisotnosti konjugirane dvojne vezi v *trans* konfiguraciji (Pokorny, 2006).

2.1.2 Poimenovanje maščobnih kislin

Fizikalne lastnosti nenasičenih maščobnih kislin so večinoma odvisne od mesta prve nenasičene (dvojne) vezi v ogljikovodikovi verigi. Kadar govorimo o omega 3 maščobnih kislinah (ω -3), to pomeni, da gre za družino polinenasičenih maščobnih kislin, ki jim je skupna prva nenasičena C=C vez na tretjem ogljikovem atomu, štetem z omega konca (Slika 2). Podobno po analogiji velja za omega 6 maščobne kisline (ω -6), kjer se prva vez pojavi na ω -6 mestu, oziroma ω -9 mestu pri omega 9 maščobnih kislinah (ω -9) (Slika 2). Na mestu, kjer je dvojna vez, se ogljikovodikova veriga nenasičenih maščobnih kislin upogne. Zato se takšne molekule, kadar se združujejo v agregate (npr. v olju), ne morejo tako tesno urediti, kot se lahko iztegnjene verige nasičenih maščobnih kislin, ki prevladajo v masteh (Krečič-Stres, 2008).

Pri poimenovanju maščobnih kislin se najpogosteje uporabljajo trivialna imena. Najbolj znane karboksilne kisline, ki nastanejo s hidrolizo masti in olj, vsebujejo 14, 16 oziroma 18 ogljikovih atomov. V naravi so najpogosteje prisotne kisline: palmitinska (C16:0), stearinska (C18:0) in oleinska (C18:1) (Belitz in sod., 2009).

Preglednica 1: Pregled pomembnejših maščobnih kislin (Belitz in sod., 2009)

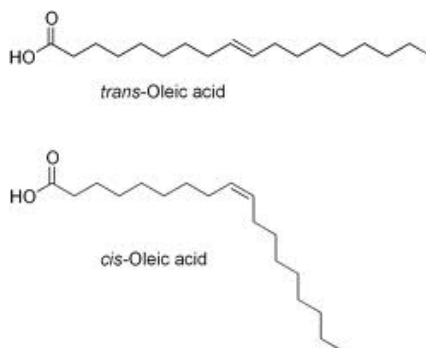
TRIVIALNO IME	KEMIJSKO IME	KRATKA OZNAKA
Nasičene kisline		
maslena	butanojska	C4:0
kapronska	heksanojska	C6:0
kaprilna	oktanojska	C8:0
kapronska	dekanojska	C10:0
lavrinska	dodekanojska	C12:0
miristinska	tetradekanojska	C14:0
palmitinska	heksadekanojska	C16:0
stearinska	oktadekanojska	C18:0
arahidinska	eikozanojska	C20:0
behenska	dokozanojska	C22:0
Mononenasičene		
oleinska	<i>cis</i> -9-oktadecenska	C18:1, c-9
elaidinska	<i>trans</i> -9-oktadecenska	C18:1, t-9
eruka	<i>cis</i> -13-dokosenska	C22:1 c-9
Polinenasičene		
linolna	<i>cis-cis</i> -9,12-oktadekadienska	C18:2, c-9, c-12
	<i>trans-trans</i> -9,12-oktadekadienska	C18:2, t-9, t-12
	<i>cis-trans</i> -9,12-oktadekadienska	C18:2, c-9, t-12
	<i>trans-cis</i> -9,12-oktadekadienska	C18:2, t-9, c-12
α - linolenska	all- <i>cis</i> -9,12,15-oktadekatrienska	C18:3 n-6
arahidonska	all- <i>cis</i> -5,8,11,14-eikozatetraenska	C20:4 n-6
EPA (eikozapentanojska)	all- <i>cis</i> -5,8,11,14,17-eikozapentaenska	C20:5 n-3
DHA (dokozaheksanojska)	all- <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19-dokozaheksaenska	C22:6 n-3

2.1.3 *Trans* maščobne kisline

Pri geometrijskih izomerah maščobnih kislin, ki jih imenujemo *trans/cis* izomere, je različna konfiguracija vodika ob dvojni vezi. Izraz *trans* izomere maščobnih kislin (TMK) zajema veliko število različnih izomer, ki nastanejo med procesom hidrogeniranja in segrevanjem olj ter se glede strukture razlikujejo tako od nasičenih kot tudi od nenasičenih maščobnih kislin (Filip, 2009).

Pri *cis* konfiguraciji dvojne vezi sta radikala, ki sta vezana na ogljikova atoma ob dvojni vezi, nameščena na isti strani ogljikove verige (Slika 3). To je razlog, da je molekula »zavita« na mestu dvojne vezi. V to skupino spadajo tudi vse esencialne maščobne kisline (Filip, 2009).

Pri *trans* konfiguraciji dvojne vezi sta radikala, ki sta vezana na ogljikova atoma dvojne vezi, nameščena na nasprotni strani ogljikove verige (v diagonalni smeri). Zaradi tega je kot ob dvojni vezi pri *trans* konfiguraciji manjši v primerjavi s *cis* in je s tem veriga bolj ravna. Posledica tega je močnejša struktura molekule, ki ima tako višje tališče. Večja termodinamska stabilnost *trans* dvojne vezi je tudi razlog, zakaj izomerizacija daje prednost nastanku *trans* izomere in zakaj so le-te manj občutljive na avtooksidacijo s prostimi radikali kot *cis* izomere maščobnih kislin (Filip, 2009).

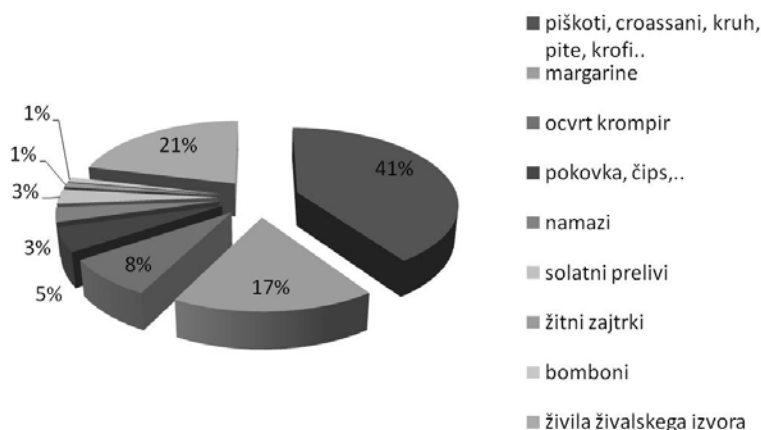


Slika 3: *Cis* in *trans* konfiguracija oleinske kisline (Belitz in sod.,2009)

2.1.3.1 Prehranski pomen in vir *trans* maščobnih kislin

Trans maščobne kisline (TMK) pridejo v prehrano na dva načina. Prvi vir je bakterijska biohidrogenacija v vampu prežvekovalcev, kar je vir *trans* maščobnih kislin v ovčjih in govejih (posledično v mlečnih) maščobah. V govejem loju so prisotne v koncentraciji 2-9 % (Sadler, 2005). Večina teh izomer ima konjugirane dvojne vezi z eno samo enojno vezjo med dvema dvojnima za razliko od običajnih dvojnih vezi, kjer sta med dvema dvojnima dve enojni vezi.

Drugi vir je industrijska katalizirana hidrogenacija tekočih rastlinskih olj. Tako pridobimo trdne maščobe in delno hidrogenirana olja ter s tem povečamo toplotno stabilnost in pridobimo nekatere želene fizikalne lastnosti. Tako pridobljeni izdelki so margarine, namazi, šorteningi, olja za cvrenje, ki so veliko bolj uporabni v proizvodnji hrane kot tekoča olja (Slika 4). Nastane več različnih *trans* izomer, predvsem iz C₁₈ nenasičenih maščobnih kislin (Sadler, 2005).



Slika 4: Glavni viri TMK v človeški prehrani (Filip in Vidrih, 2010)

Za *trans* maščobne kisline, ki nastanejo z industrijsko katalizirano hidrogenacijo so raziskave pokazale več negativnih vplivov na zdravje, kateri so omenjeni v nadaljevanju. Za *trans* maščobne kisline, ki nastanejo z biohidrogenacijo, slednje ne velja, saj te vsebujejo konjugirane dvojne vezi.

Trans maščobne kisline (posebno C18:1 *trans* izomere maščobnih kislin) povzročajo povišanje škodljivega LDL holesterola v plazmi, kar je rizični dejavnik za nastanek krvno-žilnih bolezni, poleg tega pa zmanjšujejo koncentracijo varovalnega HDL holesterola v plazmi, kar dodatno zviša tveganje za nastanek krvno-žilnih bolezni (Lutter, 2005).

Raziskave kažejo, da so neugodni učinki, ki jih imajo *trans* maščobne kisline na vsebnost lipoproteinov v serumu in posledično na tveganje za nastanek krvno-žilnih bolezni, mnogo večji od učinkov uživanja nasičenih maščobnih kislin (Filip, 2009). Razlog neugodnih učinkov je zaradi poslabšanja razmerja LDL/HDL holesterola, ki se z uživanjem *trans* maščobnih kislin postopoma veča (Mozaffarian in sod., 2006).

Pomembno je omeniti škodljive interakcije, ki jih imajo TMK pri metabolizmu esencialnih MK. Posebno neugodne so interakcije v primeru, ko ljudje zaužijejo večje količine TMK ob nizkem vnosu esencialnih MK (<2 % energije z linolno kislino). Zato sta možni dve razlagi delovanja TMK: bodisi tekmujejo z linolno kislino v metabolnih poteh bodisi inhibirajo delovanje encimov v jetrih, ki so odgovorni za podaljševanje in nadaljno desaturacijo linolne kisline ter delovanje encimov, ki pretvarjajo arahidonsko kislino v prostaglandine, ki so pomembne snovi za delovanje celic (Sadler, 2005).

Poleg tega imajo TMK še naslednje učinke:

- znižujejo maščobo v mleku doječih mater,
- so povezane z nizko porodno težo,
- povečujejo tveganje za diabetes,
- zmanjšujejo nivo testosterona pri moških,
- znižujejo odziv rdečih krvnih celic na inzulin,
- povzročajo spremembe velikosti celic v rezervni maščobi, njihovo število in sestavo (Kumerov in Marn, 2010).

Napredki, ki bodo v tehnologiji predelave živil omogočili zmanjšanje TMK vključujejo:

- izpopolnitev pogojev pri procesu hidrogenacije, ki bodo v prihodnje zmanjšali vsebnost TMK ali jo popolnoma eliminirali,
- interesterifikacije (preusmeritve MK znotraj ali med triacilgliceroli tekočih olj in trdnih maščob),
- genetske modifikacije oljaric (Sadler, 2005).

2.1.4 Učinki raznih maščobnih kislin na zdravje

Preglednica 2: Količinsko in fiziološko pomembne maščobne kisline hrane, njihov fiziološki učinek in vloga (Salobir, 2001)

vsakdanje ime	kratka oznaka	učinek, vloga
nasičene kisline		
- lavrinska	C12:0	zvišuje raven holesterola v krvi (aterogena)
- miristinska	C14:0	najbolj aterogena
- palmitinska	C16:0	aterogena
- stearinska	C18:0	pospešuje strjevanje krvi (trombogena)
enkrat nenasičene		
- palmitoleinska	C16:1	znižuje raven holesterola, ni podvržena peroksidaciji
- oljna (oleinska)	C18:1	znižuje raven holesterola, ni podvržena peroksidaciji
večkrat nenasičene		
antiaterogene		
- linolna	C18:2n-6	esencialna m.k., predstopnja arahidonske
- α -linolenska	C18:3n-3	esencialna, predstopnja EPA in DHA
- γ -linolenska	C18:3n-6	funkcionalna pri multipli sklerozi
- dihomogama-linolenska	C20:3n-6	predstopnja tkivnih hormonov n-6 vrste
- arahidonska	C20:4n-6	predstopnja tkivnih hormonov n-6 vrste
- EPA	C20:5n-3	predstopnja tkivnih hormonov n-3 vrste
- DHA	C22:6n-3	gradnik možganov, živčevja, očesne mrežnice, pomembna za razvoj možganov, mrežnice

Kratkoverižne nasičene maščobne kisline (6:0–10:0) skorajda nimajo vpliva na nivo holesterola v krvi. Medtem ko imajo srednje verižne nasičene (12:0–16:0) največji

potencial za dvig nivo holesterola. Nenasičene maščobne kisline, tako mononenasičene kot polinenasičene, znižujejo LDL in HDL v krvi.

Glavni vir omega 3 maščobnih kislin v prehrani je α -linolenska. Omega 3 maščobne kisline zmanjšujejo tveganje za nastanek srčnih bolezni in kapi. EPA in DHA znižujeta agregacijo trombocitov, krvni tlak, možnost za nenadno smrt ter znižujeta nivo trigliceridov (Lichtenstein, 2005).

Omega 3 maščobne kisline imajo ključno vlogo tudi pri: preprečevanju srčno-žilnih bolezni, hipertenziji, diabetesu tipa 2, ledvičnih bolezni, revmatoidnem artritisu, ulceracijskem kolitisu, Crohnovi bolezni, kroničnih pljučnih boleznih...

Omega 6 maščobne kisline (npr. arahidonska) so prekursor mnogih eikozanoidov (to so nekakšni lokalno aktivni hormoni), npr. prostaglandinov, levkotrienov ter tromboksanov. Omega 6 imajo tudi pomembno funkcijo, da sestavljajo membrano fosfolipidnega dvosloja in uravnavajo njeno fluidnost in ekspresijo celičnih receptorjev (Lichtenstein, 2005). Povečanje razmerja C18:1 in C18:2 v prehrani zmanjša dovzetnost LDL na oksidacijo (saj se mononenasičene veliko težje oksidirajo, kar je razlog tudi za zaščitni efekt proti karcinogenezi). Oksidacija LDL pa je povezana s poškodbami endotelija, agregacijo trombocitov ter razvojem tromboze (Kirk, 1999).

2.1.5 Priporočila zauživanja maščob

Preglednica 3 : Priporočila Svetovne zdravstvene organizacije za količino in kakovost maščob v prehrani odraslih (Salobir, 2001)

kriterij zauživanja maščob	meje zauživanja	
	najmanj	največ
skupne maščobe (% energije maščob od skupno zaužite energije)	15	30
nasičene maščobne kisline (% skupne energije)	0	10
večkrat nenasičene maščobne kisline (% skupne energije)	3	7
holesterol (mg/dan, samo v živilih živalskega izvora)	0	300

Priporočila glede maščobe (delež od skupno zaužite energije %) izhajajo iz dejstva, da tako premalo kot preveč maščob v prehrani ni ugodno za zdravje.

Priporočljiv energijski delež večkrat nenasičenih maščobnih kislin (takih z dve oz. več dvojnih vezi) med 3 % in 10 % je osnovan na potrebah po esencialnih maščobnih kislinah, ki so z gotovostjo pokrite, če dajejo te kisline vsaj 3 % od skupne energije hrane. Omejitev, da naj jih v prehrani ne bo več kot 7 %, pa je zaradi povečanega nastajanja škodljivih peroksidov maščob, oziroma prostih radikalov v organizmu, če zaužijemo veliko večkrat

nenasičenih maščob. Preostali, največji energijski delež maščob, teoretično med 13 % in 27 % naj bodo enkrat nenasičene maščobne kisline. Te kisline, v glavnem gre za oleinsko (oljno) kislino, so manj podvržene peroksidaciji, znižujejo skupni in LDL holesterol ter zvišujejo HDL holesterol v krvi (Salobir, 2001).

Po Referenčnih vrednostih (2004) naj dnevni vnos TMK ne bi presegal 1 % dnevno zaužite energije. To pomeni, da zdrav človek, ki dnevno zaužije 2.000 kcal naj ne bi zaužil več kot 20 kcal v obliki TMK oz. ne več kot 2 g na dan.

Rezultati obsežnih epidemioloških raziskav potrjujejo hipotezo, da na tveganje za nastanek srčno žilnih bolezni bolj kot količina vpliva kakovost zaužitih maščob. V vseh raziskavah je bila dokazana močna povezava med uživanjem TMK in povečanjem tveganja za nastanek srčno žilnih bolezni. Tako so dokazali, da pri uživanju hrane zamenjava TMK (2 % dnevno zaužite energije) z naravno obliko *cis* maščobnimi kislinami močno (za več kot 50 %) zmanjša tveganje za nastanek srčno žilnih bolezni. Zamenjava nasičenih maščobnih kislin v prehrani z enkrat nenasičenimi je povezana z zmanjšanjem tveganja za 30 % (Filip in Vidrih, 2010).

2.2 SONČNIČNO OLJE

Se pridobiva s predelavo semena sončnice (*Helianthus annuus*) (Slika 5), ki je ena od najpomembnejših oljnic na svetu. Predstavlja kar drugi največji svetovni vir rastlinskega olja, takoj za palmovim oljem. Sončnično olje spada med najkvalitetnejša olja zaradi visoke vsebnosti linolne kisline in vitamina E. Optimalni odnos teh dveh pomembnih bioloških sestavin in odsotnosti nestabilne linolenske kisline so glavni razlog, da ga po kakovosti uvrščamo pred večino ostalih semenskih olj (Jamnik, 1992).

Ruskim znanstvenikom je s kemijsko mutagenozo uspelo pridobiti križanec sončnice z visokim deležem oleinske kisline. Z zmanjšanjem deleža linolne kisline so tako ustvarili dodatno vrsto sončničnega olja s povečano oksidativno stabilnostjo olja. Danes je znanih že več vrst sončnic z različnimi deleži posameznih maščobnih kislin (O'Brien, 1998).



Slika 5: Sončnica (*Helianthus annuus*) (O'Brien, 1998)

Preglednica 4: Fizikalno-kemijske lastnosti sončničnega olja (O'Brien, 1998)

Sončnično olje		
Specifična teža pri 25°C	0,915–1,474	
Refraktometrični indeks	1,472–1,474	
Jodno število	125,0–136,0	
Saponifikacijsko število	188–194	
Voski (%)	0,2–3,0	
Točka tališča (°C)	-18,0 do -16,0	
Sestava maščobnih kislin v sončničnem olju (%)		
Miristinska	C14:0	0,1
Palmitinska	C16:0	7,0
Palmitooleinska	C16:1	0,1
Stearinska	C18:0	4,5
Oleinska	C18:1	18,7
Linolna	C18:2	67,5
Linolenska	C18:3	0,8

2.3 KEMIJSKE SPREMEMBE MAŠČOBNIH KISLIN

2.3.1 Spremembe med cvrenjem

Spremembe kakovosti olja so že dolgo predmet preučevanja, saj je ocvrta hrana vse bolj prisotna v prehrani. Istočasno se s to problematiko ukvarjajo tudi nutricionisti, ker vsebuje hrana, pripravljena s cvrenjem, največkrat 11–42 % olja (odvisno od proizvoda), tako da je zelo pomembna kvaliteta olja, ki se s to vrsto hrane vnaša v organizem (Vidmar in Oštrič-Matijaševič, 1992).

Pri maščobah, ki se uporabljajo za cvrenje, je zelo pomembna dobra toplotna stabilnost surovine in ustrezno opravljen postopek cvrenja. Do razgradnje maščob pri cvrenju prihaja zaradi visoke temperature (155–185 °C) in večkratne obdelave v isti maščobi (Skvarča, 2000).

Preglednica 5: Vrste kvara med segrevanjem olja (Vidmar in Oštrič-Matijaševič, 1992)

Vrsta kvarjenja	Povzročitelj	Nastale spojine
Hidrolitično kvarjenje	vlaga	MK, monogliceridi, digliceridi, glicerol
Oksidativno kvarjenje	zrak	Oksidirani monomeri ter dimeri, polimeri, izparljive spojine (aldehidi, ketoni, kisline,...)
Termično kvarjenje	temperatura	Ciklični monomeri, dimeri in polimeri

Cvrenje olja ima za posledico nastajanje značilnih arom in okusov po ocvrtem, prav tako tudi nezaželenih arom, če je olje preveč pregreto. Nezaželeni vonji in okusi nastanejo kot posledica mnogih kemijskih reakcij, ki potekajo med cvrtjem: oksidacija, hidroliza in

polimerizacija. Interakcija med paro, vodo in oljem bo hidrolizirala triacilglicerole do mono- in diacilglicerolov ter do posameznih maščobnih kislin. Z naraščajočim časom bo kot posledica popolne hidrolize nastal tudi glicerol. Dejavniki, ki vplivajo na hidrolizo, so temperatura, mejna ploskev med vodo in oljem, vsebnost vode in količina pare. Kovine, s katerimi je olje kontaminirano, reagirajo s hidroperoksidi ter tvorijo proste radikale v prisotnosti kisika (Skvarča, 2000).

Bistvenega pomena je temperatura cvrtja. Pri višjih temperaturah nastajajo spojine, ki pri nižjih verjetno ne bi. To so razni aldehidi, ketoni, alkoholi, estri, laktoni. Pogosta reakcija je tudi polimerizacija. S stopnjo polimerizacije se povečuje tudi viskoznost olja. Večina polimeriziranih produktov ni hlapnih, npr. dimerne maščobne kisline, triacilglicerol trimeri) in zato tudi ne prispevajo k aromi. Z višanjem temperature se lahko ti nehlapni produkti razgradijo v toksične produkte. Takšna razgradnja negativno prispeva ne le k okusu in zdravstvenemu vidiku, temveč tudi k barvi in teksturi ocvrtih živil (Richards, 2006).

Nastale lahkohlapne sestavine se večinoma izločajo iz olja med cvrenjem skupaj s paro. To so produkti, nastali z razgradnjo hidroperoksidov, primarnih produktov oksidacije, ki so labilni pri višjih temperaturah in se hitro razgrajujejo. Nehlapne sestavine, ki ostanejo v olju, povzročajo fizikalne, kemijske in senzorične spremembe. Od fizikalnih sprememb moramo omeniti: spremembo okusa, vonja in barve, viskoznosti, točka dimljenja, UV absorpcija, dielektrične konstante in nastanek pene (Vidmar in Oštrič-Matijašević, 1992).

Kemijske spremembe olja lahko spremljamo z določanjem prostih maščobnih kislin, peroksidov, jednega števila, sestave MK, vsebnosti oksi-maščobnih kislin, polarnih spojin itd. Senzorične spremembe obsegajo spremembo okusa, vonja in barve.

Kljub velikemu številu razvitih analitičnih metod, izbira najprimernejše ni enostavna. Posamezne metode največkrat pokažejo le stopnjo nastalih sprememb, ki nastanejo pri eni vrsti kvarjenja ne pa vseh nastalih sprememb. Za spremljanje sprememb olja med cvrenjem se najpogosteje uporablja metoda določanja prostih MK - PMK ali FFA (free fatty acids). Vsebnost PMK je pomemben parameter kvalitete olja, vendar na podlagi samo te analize ni mogoče oceniti primernost olja za nadaljno uporabo. Raziskave so pokazale, da je mejna vrednost za še sprejemljivo olje iz zdravstvenega vidika cca 1 % PMK. Ponavadi se že pri tej vrednosti znatno spremeni kvaliteta olja: postane temnejše in viskoznejše, olje in ocvrta hrana pa imata pogosto tuj in neprijeten vonj (Vidmar in Oštrič-Matijašević, 1992).

V praksi se spremlja tudi barva olja. Spremembe so lahko opazne, enostavne pa so tudi kolorimetrične in spektrofotometrične metode. Sprememba barve je posledica spremenjene sestave olja (tvorba oksi produktov) in topnosti posameznih sestavin hrane, ki se cvre.

Na spremembo viskoznosti vplivata predvsem sestava olja in temperatura cvrenja. Viskoznost se spreminja z vsebnostjo polimerov. Pri povečani viskoznosti vpija hrana večje količine olja, kar zniža kakovost proizvoda pa tudi izgube olja so večje. Metode za določanje viskoznosti so hitre in enostavne, zato se pogosto uporabljajo v praksi (Vidmar in Oštrič-Matijašević, 1992).

Točka dimljenja je tesno povezana s točko vžiga. Vedno jo določamo olju, ki se uporablja za cvrenje. Jedilna olja imajo ponavadi točko dimljenja med 235 °C in 245 °C pri vrednosti PMK cca 0,1 %. Z naraščanjem vrednosti PMK točka dimljenja pada (Vidmar in Oštrič-Matijaševič, 1992).

Ker pri segrevanju olja na višje temperature nastaja pena, se njeno določanje uporablja kot kriterij za ocenjevanje kvalitete olja. Količina nastale pene je v korelaciji z drugimi vrstami kvarjenja olja (Vidmar in Oštrič-Matijaševič, 1992).

Pomemben pokazatelj je tudi padec jodnega števila med cvrenjem. Ker nam daje jodno število vpogled v vsebnost NeMK, je njegovo znižanje neposredno povezano z oksidacijskimi spremembami in je tudi merilo tovrstnega kvara. Z znižanjem jodnega števila se spreminja tudi sestava MK – znižuje se vsebnost NeMK (Vidmar in Oštrič-Matijaševič, 1992).

2.3.2 Hidrogenacija maščob in olj

Na začetku 20. stoletja je prišlo na trgu do presežka olj, potrošniki so zahtevali trdno maščobo, podobno maslu. Hidrogenacija je bila primerna rešitev.

Hidrogenacija se izvaja iz dveh razlogov:

- sprememba agregatnega stanja omogoči konzistenco in vse funkcionalne lastnosti – mazavost, stabilnost pri segrevanju,
- drugi razlog je oksidativna stabilnost, ki omogoča daljšo življenjsko dobo in stabilnost arome (Richards, 2006).

Olje se segreje na 160–180 °C v atmosferi z vodikom in nikljem kot katalizatorjem. Med hidrogenacijo se polinenasičene MK najprej pretvorijo v mononenasičene MK. Tvorba nasičenih MK je počasnejša. Reakcija je ponavadi ustavljena na stopnji, ko je dosežena željena točka tališča, ponavadi med 35 in 40 °C, odvisno od namena proizvoda (Richards, 2006).

Katalitična hidrogenacija je torej adicija vodika na dvojne vezi ob prisotnosti niklja kot katalizatorja, vendar vzporedno potekajo še mnoge druge kompleksne reakcije:

- nasičenje dvojnih vezi,
- *cis/trans* izomerizacije dvojnih vezi (pretvorba originalne *cis* dvojne vezi v *trans* dvojno vez),
- pomik dvojne vezi na nižje energetske mesto zaradi nastanka konjugiranih dvojnih vezi (Richards, 2006).

Nasičene maščobne kisline imajo višje tališče kot nenasičene, *trans* izomere imajo prav tako višje tališče kot *cis* izomere. Ker pride pri hidrogenaciji do nasičenja maščobnih kislin in hkrati do tvorbe *trans* izomer, oboje pomeni dvig točke tališča hidrogeniranih maščob. Torej *trans* izomerizacija povzroči, da imajo maščobe trdno strukturo pri nižjih temperaturah in da so mehkejše pri višjih temperaturah. Reakcija zasičenja poteka na površini katalizatorja. Najpomembnejši pogoji hidrogenacije so temperatura, intenzivnost

mešanja, pritisk vodika v reaktorju, količina katalizatorja, čistost vodika, vrsta katalizatorja ter vrsta in kvaliteta olja (Richards, 2006).

Temperatura vpliva na mnoge kemijske reakcije, tako tudi na hidrogenacijo. Višja temperatura povzroči, da pride do katalizatorja manj vodika, kar vodi do visoke selektivnosti in nastanka *trans* izomer. Poleg visoke temperature vplivata na nastanek *trans* izomer tudi majhna količina katalizatorja in nizek tlak vodika (Richards, 2006).

2.3.3 Oksidacijske reakcije

Zaradi oksidativne razgradnje lipidov prihaja pri proizvodnji in skladiščenju živil do znatnih ekonomskih izgub. Oksidacija nenasičenih maščob ne povzroča le neprijetnih vonjev in okusov, ampak tudi zmanjša prehransko vrednost in varnost s tvorbo sekundarnih reakcijskih spojin.

Oksidacijska stabilnost je odvisna od številnih dejavnikov:

- temperature,
- prisotnosti kisika,
- stopnje izpostavljenosti površine,
- začetne sestave,
- koncentracije mikroelementov s prooksidativnim in antioksidativnim delovanjem,
- stopnje obdelave med tehnološkim procesom,
- pogojev skladiščenja in drugo (Skvarča, 2000).

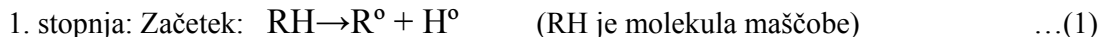
Dvojne vezi v nenasičenih MK so podvržene oksidaciji. Ločimo več vrst oksidacij:

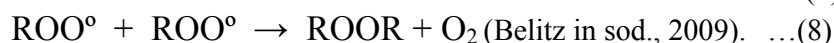
- avtooksidacija s kisikom (se ponavadi prične s prostim radikalom ali singlet kisikom),
- singlet kisika nastane med fotooksidacijo nenasičenih lipidov v prisotnosti vzpodbujevalcev,
- tudi številni encimi prisotni v semenih oljnic ali živalskih tkivih, kot so lipooksigenaze, katalizirajo encimske oksidacijske reakcije.

2.3.3.1 Avtooksidacija maščob

Avtooksidacija je dokaj kompleksna reakcija in vključuje veliko število medsebojno povezanih reakcij intermediatov. Na stopnjo oksidacije vplivajo sestava maščobnih kislin, stopnja nenasičenosti, prisotnost oz. odsotnost anti- in prooksidantov, parcialni tlak kisika, narava površine izpostavljene kisiku ter zunanji dejavniki (vlaga, temperatura...). Na stopnjo avtooksidacije prav tako vpliva položaj dvojne vezi v maščobni kislini. Maščobne kisline z dvojno vezjo na tretjem položaju oksidirajo hitreje kot maščobne kisline z dvojno vezjo na boljše zaščitenem drugem mestu (Belitz s sod., 2009).

Avtooksidacija je spontana neencimska oksidacija maščob, ki so izpostavljene zraku, v bistvu gre za verižno reakcijo prostih radikalov in obsega naslednje stopnje:





V prvi stopnji se nekaj molekul maščobe RH aktivira s toploto, svetlobo ali kovinskim katalizatorjem, da se cepi v nestabilne radikale $R^\circ + H^\circ$. Vodik C-atoma ob dvojni vezi se odstrani s pomočjo povišane temperature (segrevanje – cvrenje). Ko se vodik odstrani, pride do nastanka prostih radikalov. Prosti radikali so atomi, ioni ali molekule, ki imajo nesparjen elektron, so zelo reaktivni in kratkotrajno obstojni. Že pri sobni temperaturi tvori radikal 100 hidroperoksidov preden nastopi konec verižne reakcije (Zelenik-Blatnik, 1992).

Najpomembnejši kisikovi prosti radikali so superoksidni ion, tripletni kisik, singletni kisik, hidroksilni radikal, vodikov peroksid, radikal dušikovega oksida in peroksidni radikal (nekaj teh izvira iz dihanja).

Običajno se prosti radikali povežejo v RH, RR, H₂, H₂O itd. Toda v prisotnosti molekularnega kisika pa se pri reakciji med $R^\circ + O_2$ tvori peroksidni radikal ROO° . Ta radikal nato reagira z novo molekulo maščobe RH, pri čemer se tvori hidroperoksid ROOH in prost radikal R° , s čimer se nadaljuje verižna reakcija. Prosti radikali se sedaj tvorijo brez začetnih aktivatorjev. Reakcija se nadaljuje in več molekul maščob se pretvori v hidroperokside (Zelenik-Blatnik, 1992).

V tretji stopnji se hidroperoksid lahko razgradi na različne proste radikale. Reakcija se zaključi, ko se prosti radikali povežejo z drugimi prostimi radikali ali z inaktivatorji ob tvorbi stabilnih spojin, ki se nakopičijo v sistemu (Belitz in sod., 2009).

Primarni produkti avtooksidacije so torej hidroperoksidi R-O-OH, ki so brez barve, vonja in okusa, nestabilni ter se razgradijo. Razgradnja peroksidov se smatra kot začetna točka pri tvorbi hlapnih reakcijskih produktov. Bolj stabilne produkte razgradnje imenujemo sekundarni produkti. Sem prištevamo številne spojine (peroksidi), najbolj pomembne so karbonilne spojine (aldehidi, ketoni).

Aldehidi se radi oksidirajo in nastanejo organske kisline, ki so terciarni produkti. Ti končni produkti povzročajo žarek vonj in nadaljne reakcije, ki vodijo do poslabšanja kvalitete (Zelenik-Blatnik, 1992).

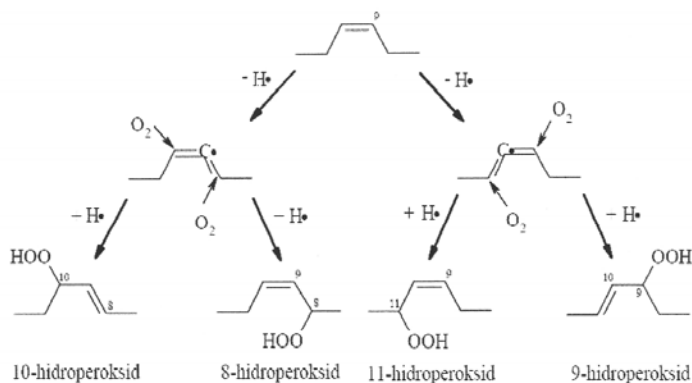
Nastanejo tudi produkti s konjugirano dvojno vezjo, ki vsebujejo *trans* dvojno vez. *Cis* hidroperoksidi prevladujejo pri temperaturi pod 40 °C. Reakcijska mešanica sestoji iz 2–4 izomer, katerih deleži so odvisni od pogojev reakcije. V primeru encimsko-katalizirane

reakcije poteka selektivna oksidacija, zato prevlada določena izomera. Stopnja avtooksidacije pričakovano narašča z naraščanjem temperature (Zelenik-Blatnik, 1992).

2.3.3.2 Avtooksidacija oleinske kisline

Klasični mehanizem nastanka prostih radikalov iz oleinske kisline se prične z odcepom vodikovega atoma na mestu C8 ali C11. Pri tem pride do delokalizacije na treh C atomih in s tem nastanek reaktivnega mesta, na katerega se veže kisik. Tako nastane zmes štirih hidroperoksidov, ki vsebujejo -OOH skupino na C8, C9, C10 in C11 atomu: (Slika 6)

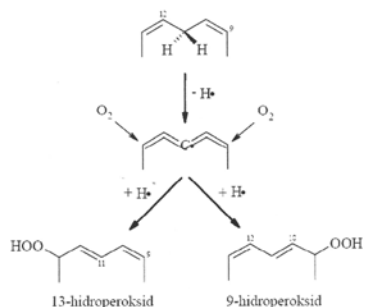
- 9-hidroperoksi-*trans*-10-oktadekanoat
- 1-hidroperoksi-*cis*-9-oktadekanoat
- 10-hidroperoksi-*trans*-8-oktadekanoat
- 8-hidroperoksi-*cis*-9-oktadekanoat (Frankel, 1998)



Slika 6: Mehanizem avtooksidacije oleinske kisline in nastanek hidroperoksidov (Frankel, 1998)

2.3.3.3 Avtooksidacija linolne kisline

Linolna kislina se mnogo lažje avtooksidira kot oleinska kislina, ker obe njeni dvojni vezi aktivirata vmesno metilensko skupino. Vodikov atom se tako hitro odcepi od C11 atoma. Ta odcepitev povzroči nastanek prostega radikala, ki reagira s kisikom na C9 in C13 atomu (Slika 7). Na takšen način dobimo zmes dveh hidroperoksidov: 9- in 13-hidroperoksid (Frankel, 1998).



Slika 7: Mehanizem avtooksidacije linolne kisline in nastanek hidroperoksidov (Frankel, 1998)

2.4 ANTIOKSIDANTI

Maščobne komponente so podvržene oksidativni razgradnji. Zato je kakovost maščob in maščobnih izdelkov odvisna tudi od inhibicije teh sprememb ter posredno od uporabe antioksidantov (Skvarča, 2000).

Antioksidante so pogosto uvrščamo v veliko skupino živilskih dodatkov, ki podaljšajo živilom obstojnost, saj jih zaščitijo pred oksidativnimi spremembami. Njihov pomemben vpliv pri maščobah je zadrževanje ali preprečevanje žarkosti oziroma nastanek nezaželenih arom kot produktov oksidacije. Poznamo veliko število naravnih in sintetičnih antioksidantov. Slednji so običajno cenejši in bolj učinkoviti, vendar je sodoben trend močno v prid naravnim antioksidantom. Najpomembnejši naravni antioksidanti, ki se najpogosteje uporabljajo za maščobe, so tokoferoli, askorbinska kislina (kot ester palmitinske kisline), ekstrakti nekaterih začimb (žajbelj, rožmarin) in drugi. Pomembni so tisti, ki se lahko prenašajo iz ocvrtih živil v olje preko aktivnih spojin v začimbah ali dišavnicah (žajbelj, rožmarin). Njihova aktivnost je večja pri temperaturah skladiščenja, zmanjša se pri višjih temperaturah in naraste med cvrenjem (Skvarča, 2000).

Uporaba rastlinskih ekstraktov kot antioksidativnih sredstev je še posebej zanimiva za uporabo, saj jih ima večina status GRAS (Generally Regarded As Safe), kar nam omogoča bolj naraven pristop h konzerviranju živil (De Koning, 2006).

Dodajajo se samo dovoljene vrste antioksidantov v predpisanih količinah. Če v živilo dodamo preveč antioksidanta, lahko le-ta deluje kot prooksidant. Najbolj učinkoviti so antioksidanti v živilih v koncentraciji 10–50 ppm. Z dodatkom antioksidantov ne moremo preprečiti vseh sprememb na maščobah, lahko pa te spremembe zadržimo za določen čas. V homogenih sistemih je rezistenca do oksidacije v glavnem odvisna od ravnotežja med antioksidanti in prooksidanti (Skvarča, 2000).

Idealni antioksidant mora slediti naslednjim zahtevam:

- biti mora varen za uporabo,
- ne sme imeti nezaželenih vonjev, okusov in barve,
- biti mora učinkovit v nizkih koncentracijah,
- njegovo vključevanje mora biti enostavno,
- prenesti mora proces toplotne obdelave,
- biti mora dostopen po nizkih cenah (Skvarča, 2000).

V določenih izdelkih se kombinirata dva ali več antioksidantov in sta v kombinaciji bolj učinkovita kot če bi ju uporabili ločeno. Učinek antioksidanta v maščobah je odvisen od:

- vrste olja ali maščobe glede na vsebnost nenasičenih MK,
- temperature, ki vpliva na mehanizem oksidacije in razgradnjo hidroperoksidov, primarnih oksidacijskih produktov (hidroperoksidi) ali sekundarnih produktov (karbonilne spojine in/ali hlapne komponente),
- mešanice antioksidantov,
- topnostnih dejavnikov (porazdelitev antioksidanta med vodno in oljno fazo) (Skvarča, 2000).

Antioksidante razvrščamo v tri skupine:

1. antioksidanti, ki vežejo proste radikale (ti predstavljajo glavno znotrajcelično obrambo, npr. katalaza, glutathion peroksidaza),
2. reducenti (to so neencimski proteinski antioksidanti v plazmi, npr. hemoglobin, transferin, albumin),
3. antioksidantni sinergisti, ki povečujejo učinek antioksidantov prve skupine (vitamin C, tokoferoli, betakaroten...) – ti so pri oksidaciji maščob najbolj pomembni (Korošec, 2000).

2.4.1 Delovanje antioksidantov

Delovanje antioksidantov je prikazano na primeru delovanju polifenolov v vlogi antioksidanta.

Ustavijo reakcijo, ker se povežejo s prostimi radikali kot je npr. radikal maščobne kisline ali alkilperoksidni radikal:



ali s hidroperoksidom:



(A· se deaktivira z nadaljno oksidacijo do kinonov in tako ustavi reakcijo)

Edino fenolne spojine, ki se zlahka pretvorijo v kinone, so učinkoviti antioksidanti.

Antioksidanti v velikih koncentracijah lahko delujejo prooksidativno, takrat poteče naslednja reakcija:



Antioksidativen učinek fenolov je močno odvisen od vrednosti pH. Učinek je slabši v kislem mediju (pH 4) in izrazitejši v alkalnem mediju (pH 8) (Belitz in sod., 2009).

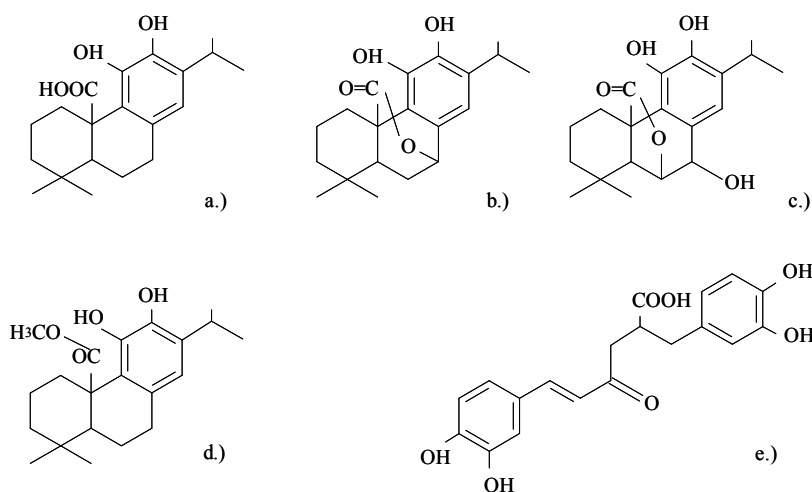
2.4.2 Rožmarin

Rožmarin (*Rosmarinus officinalis* L.) (Slika 8) izvira z Mediterana in spada v družino ustnatic (*Lamiaceae*). Rožmarin je gost, zimzelen in zelo aromatičen trajen grm, ki zraste do 2 m v višino in ima 2–4 cm dolge, kosmate, lepljive in ozke liste. Zgornja površina listov je temnozeleno barve, medtem ko je spodnja stran smolnata in bele barve (Sasikumar, 2001)

Cvetovi so svetlo modri do svetlo vijoličasti in se razvijejo v skupinicah na zgornjih delih stebela. Cvetijo spomladi in zgodaj poleti. Iz listov, cvetov, stebel lahko pridobimo eterično olje in oleoresin, ki sta cenjena v aromaterapiji, tradicionalni in moderni medicini ter industriji arom in dišav. Prav tako ima rožmarin visoko kulinarično vrednost (Sasikumar, 2001).



Slika 8: Rožmarin (*Rosmarinus officinalis* L.) (Sasikumar, 2001)



Slika 9: Kemijska struktura antioksidativnih komponent rožmarina a.) karnozolna kislina, b.) karnozol, c.) rožmanol, d.) metil karnozat, e.) rožmarinska kislina (Bezjak, 2004)

Karnozolna kislina, fenolni diterpen, je glavna antioksidativna komponenta v svežem rožmarinu, pod vplivom vlage, temperature, svetlobe in kisika se spremeni v karnozol. Antioksidativni potencial karnozola je znatno nižji od karnozolne kisline (Bezjak, 2004). Sveže obrani listi rožmarina ne vsebujejo karnozola. Glede na to je mogoče sklepati, da rožmanol, rozmaridifenol, metil karnozat in rožmarinska kislina, ki se nahajajo v rožmarinu, nastanejo iz karnozolne kisline pod vplivom oksidacijskih razmer. Karnozolna kislina, karnozol, rožmanol in epirožmanol spadajo v skupino diterpenov in so bili izolirani iz listov rožmarina (Slika 9). Ti fenolni diterpeni ščitijo biološke sisteme pred oksidativnim stresom. V bioloških membranah se nahaja veliko nenasičenih maščobnih kislin, katerih oksidacija vodi v uničenje in nepravilno delovanje bioloških sistemov. Karnozolna kislina preprečuje oksidativno hemolizo eritrocitov. Lipidi v eritrocitih so močno nenasičeni, zato so le-ti podvrženi hitri oksidaciji. Rdeče krvničke vsebujejo tudi hemoglobin, ki pospešuje oksidacijo eritrocitov (Bezjak, 2004).

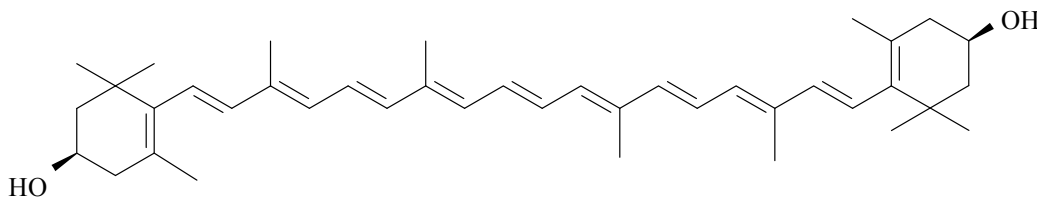
2.4.3 Lutein

Karotenoidi so ogljikovodikovi polieni, biosintetizirani iz osmih enot izoprena, zato je sestavlja njihov skelet 40 ogljikovih atomov. V hrani rastlinskega izvora dajejo intenzivne rumene, oranžne in rdeče barve.

Karotenoidi so hidrofozne molekule, zato je dobro topne v masteh in olju. Na splošno so karotenoidi občutljivi na povišano temperaturo, prisotnost kislin, kisika in svetlobe, in so podvrženi oksidativni razgradnji (Bartley, 2005).

Beseda lutein izvira iz latinske besede 'luteus' in pomeni rumen. Lutein spada med ksantofile (ti vsebujejo atome kisika) in je eden izmed 600 znanih v naravi najdenih karotenoidov. Najdemo ga v špinaci, ohrovtu, mangu, peteršilju, brokoliju, kitajskemu zelju, jajčnemu rumenjaku ...

Deluje kot antioksidant, je lipofilna molekula. Lutein je izomer zeaksantina (Slika 10), razlikujoč se le v položaju ene dvojne vezi. Lutein se je od začetku uporabljal bolj kot barvilo zaradi svoje oranžno-rdeče barve. Lutein je v organizmu skoncentriran v očesu – v rumeni pegi. Ščiti oko pred antioksidativnimi stresi, ščiti telo pred nekaterimi oblikami rakavih obolenj in pomaga krepiti imunski sistem.



Slika 10: Kemijska struktura luteina (Korošec, 2000)

2.5 NASTANEK KONJUGIRANIH DIENOV IN TRIENOV

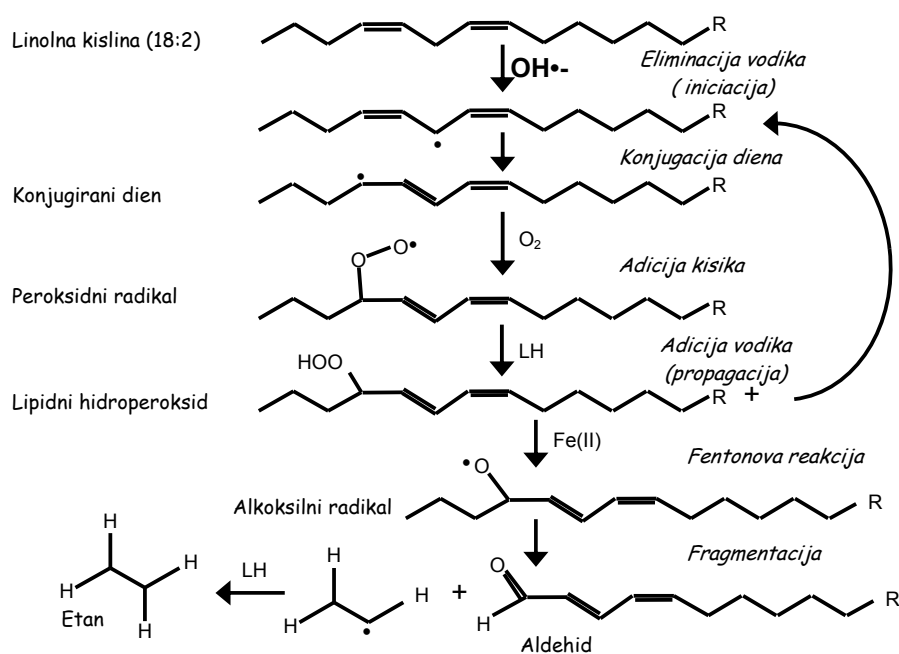
Med oksidacijo prehajajo dvojne vezi v lipidih iz nekonjugirane v konjugirano strukturo (Slika 11). Konjugirani hidroperoksidni dieni (tvorjeni iz maščobnih kislin) absorbirajo UV svetlobo pri 232 nm. Konjugirani trieni absorbirajo UV svetlobo pri 268 nm. Konjugiranih produktov lipidne oksidacije ne smemo zamenjati s konjugirano linolno kislino, ki nastane z nepopolno hidrogenacijo pri prežvekovalcih (O'Keefe in Pike, 2010).

Vrste dienov:

- konjugirani dien: med dvema dvojnima vezema je ena enojna vez
model: 1,3-butadien $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$
- kumulirani dien: dve dvojni vezi se nahajata ob istem C-atomu
model: 2,3-pentadien $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{C} = \text{CH} - \text{CH}_3$

- izolirani dien: dve dvojni vezi sta med seboj ločeni z vsaj enim C-atomom
model: 1,4-pentadien $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2$ (Domitrovič, 2010)

Spektrofotometrično merjenje konjugiranih dienov ter trienov je uporabna metoda za spremljanje začetnih stopenj oksidacije (O'Keefe in Pike, 2010).



Slika 11: Nastanek konjugiranega diena (Domitrovič, 2010)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PRIPRAVA VZORCEV

Kot olje, na katerem bomo preučevali vpliv dodatka naravnih antioksidantov v različnih koncentracijah, smo izbrali rafinirano sončnično olje proizvajalca Zvijezda.

Sončnično olje smo razdelili na 8 enakih delov po 0,5 kg ter jih prelili v čaše ustrezne velikosti:

- 1.: kontrolni vzorec: vsebuje le 0,5 kg sončničnega olja = SO,
- 2.: kontrolni vzorec s krompirjem – pomfrijem: vsebuje 0,5 kg sončničnega olja, v tem olju se je cvrl pomfri, ni bil pa dodan noben antioksidant = SOK,
- 3.: vzorec (0,5 kg sončničnega olja) z dodanim antioksidantom ekstrakta rožmarina 'Inolens 4', in sicer v koncentraciji 2 g/kg olja = SOR2,
- 4.: vzorec (0,5 kg sončničnega olja) z dodanim antioksidantom ekstrakta rožmarina 'Inolens 4', in sicer v koncentraciji 4 g/kg olja = SOR4,
- 5.: vzorec (0,5 kg sončničnega olja) z dodanim antioksidantom ekstrakta rožmarina 'Inolens 4', in sicer v koncentraciji 10 g/kg olja = SOR10,
- 6.: vzorec (0,5 kg sončničnega olja) z dodanim antioksidantom lutein, in sicer v koncentraciji 0,1 g čistega luteina/kg olja = SOL0,1,
- 7.: vzorec (0,5 kg sončničnega olja) z dodanim antioksidantom lutein, in sicer v koncentraciji 0,2 g čistega luteina/kg olja = SOL0,2,
- 8.: vzorec (0,5 kg sončničnega olja) z dodanim antioksidantom lutein, in sicer v koncentraciji 0,5 g čistega luteina/kg olja = SOL0,5.

Ekstrakt rožmarina smo pridobili v podjetju Vitiva d.o.o., Markovci, Slovenija (INOLENS4[®]). Ta ekstrakt je vseboval 4,3 % karnozolne kisline. Lutein je bil izoliran iz pelargonij (deklarirana vsebnost: 2,2 %) in pridobljen iz podjetja Etol d.d., Škofja vas, Slovenija (NovaSoL[®] Lutein). Uporabljene koncentracije v diplomskem delu so izbrane glede na priporočila proizvajalcev.

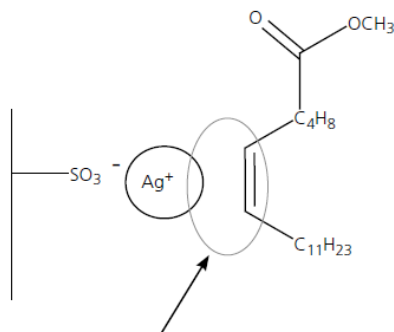
Čaše smo postavili v električno pečico (ELOMA Backmaster) in segrevali do temperature olja 160 °C ±5 °C. Vzorce olja smo segrevali od časa 0 do 120 ur z vmesnimi intervali brez segrevanja. V vmesnih intervalih brez segrevanja smo olje hranili na sobni temperaturi kot je praksa v restavracijah s hitro hrano. Prvič smo odvzeli vzorce ob času 0 h, nato smo olje vzorčili vsakih 24 h: to je po vsakem intervalu segrevanja (16 h) in hranjenja pri sobni temperaturi (8 h). Na začetku vsakega intervala segrevanja smo v njem spekli krompir. Vzorce olja smo prenesli s sterilno brizgalko v sterilne plastične centrifugirke, ki smo jih označili in shranili v zamrzovalnik (-20 °C) do nadaljnih analiz.

3.2 DOLOČANJE MAŠČOBNIH KISLIN KOT METILNIH ESTROV

Maščobne kisline določimo kot metilne estre po AOAC metodi (AOAC 966.06, 2002). Natehtali smo 10–15 mg ($\pm 0,1$ mg) predhodno homogeniziranega vzorca olja in 70 mg ($\pm 0,1$ mg) internega standarda A (heptadekanojska kislina C17:0) in 40 mg ($\pm 0,1$ mg) internega standarda B (*trans* izomera nonadekanojske kisline C19:1) v epruveto s pokrovčkom na navoj (Hach-ove epruvete). Dodali smo 300 μ l metilen klorida (CH_2Cl_2) in 3 ml 0,5 molarne raztopine NaOH v metanolu. Epruvete z vsebino smo segrevali v vodni kopeli 60 min pri 90 °C. Po hitrem hlajenju v vodi smo dodali 3 ml 14 % BF_3 v metanolu in ponovno segrevali v vodni kopeli 10 minut. Raztopino smo hitro ohladili v vodi in dodali 3 ml 10 % raztopine NaCl za povečevanje ionske jakosti (lažje ločevanje vodne in heksanske faze) ter 1 ml heksana. Raztopino smo stresali 1 minuto, zaradi čim boljše ekstrakcije MEMK iz vodne faze v nepolarno heksansko fazo. Raztopino smo 10 minut centrifugirali pri 4000 vrtljajih na minuto. Po centrifugiranju smo odpipetirali heksansko fazo v vialo in jih zamrznili (pri -20 °C) do nadaljevanja analiz. Metilacijo smo izvedli v štirih paralelkah.

3.2.1 Frakcioniranje metilnih estrov maščobnih kislin z Ag-Ion SPE

Pri Ag-Ion SPE so srebrovi ioni naloženi in imobilizirani na SCX fazo, kot nosilni ioni imajo sposobnost tvoriti polarne komplekse z dvojnimi vezmi nenasičenih maščobnih kislin, kar se zgodi pri prehajanju vzorca preko kolone SCX (Slika 12). Stabilnost nastalih kompleksov je odvisna od števila in konfiguracije dvojnih vezi. π elektroni dvojnih vezi maščobnih kislin delujejo kot donorji elektronov, medtem ko srebrovi ioni kot akceptorji elektronov. Stabilnost nastale interakcije je premosorazmerna s številom dvojnih vezi. Pri nasičenih maščobnih kislinah oz. njihovih estrih je vezava v kompleks zaradi odsotnosti dvojnih vezi šibka. *Cis* dvojne vezi omogočajo boljšo prostorsko dostopnost za tvorbo kompleksa kot *trans* dvojne vezi in tako tvorijo močnejše komplekse. Razlika v intenzivnosti zadrževanja na Ag-Ion SPE koloni je osnova za frakcioniranje metilnih estrov maščobnih kislin (Filip, 2009).



interakcijski kompleks med Ag^+ in *cis* nenasičeno vezjo MEMK

Slika 12: Prikaz tvorbe interakcijskega kompleksa (Supelco, 2010)

Preglednica 6: Potek frakcionacije po navodilih proizvajalca (Supelco, 2010)

Postopek	Opis dodajanja topil na SCX kolono	Razlaga
Kondicioniranje	Dodamo 4 ml acetona	Aceton odstrani morebitno vlago na SCX fazi, heksan uravnovesi fazo za nanos vzorca, saj se ta nahaja v heksanski fazi
Uravnovešenje	Dodamo 4 ml heksana	
Nanos vzorca	Dodamo 1 ml heksanske faze MEMK	
Frakcija 1	Dodamo 6 ml raztopine heksan:acetona 96:4	Frakcija 1 zajema: - nasičene MK - trans monoene
Frakcija 2	Dodamo 4 ml raztopine heksan:acetona 90:10	Frakcija 2 zajema: - cis monoene - trans/trans diene
Frakcija 3	Dodamo 4 ml acetona	Frakcija 3 zajema: - cis/cis diene - ostale diene - večina trienov
Evaporacija	Evaporacija vseh frakcij z N ₂ , sledi rekonstitucija z 1 ml heksana	

1 ml rekonstituirane heksanske faze vsake frakcije (pridobljene po evaporaciji) smo prenesli v manjšo vialo. Viale smo postavili na avtomatski odjemalec vzorcev na plinskem kromatografu. Najprej smo določili maščobnokislinsko sestavo standardne raztopine metilnih estrov višjih maščobnih kislin (Sigma-Aldrich, kat.št. 47885-U, raztopljeno v CH₂Cl₂ v koncentraciji 10 mg/ml). Sestava standardne raztopine je podana v masnih deležih. Standard smo razredčili 1:10 v heksanu in opravili analizo na plinskem kromatografu. Identifikacijo posameznih metilnih estrov maščobnih kislin smo določili s primerjavo retenzijskih časov analize proizvajalca na isti koloni kot smo jo uporabili tudi mi.

Pogoji na plinskem kromatografu Agilent Technologies 6890N:

- kolona: HP-88 (kat.št.: 112-88A7),
- detektor: FID,
- temperatura kolone: 210 °C,
- temperatura detektorja: 280 °C,
- temperatura injektorja: 250 °C,
- nosilni plin: He,
- pretok N₂: 45 mL/min,
- pretok He: 2,3 mL/min,
- volumen injiciranja: 1 µl,
- program za obdelavo podatkov: GC ChemStation.

Koncentracijo posameznih nasičenih maščobnih kislin smo izračunali po enačbi:

$$C(\text{mg} / 100\text{g}) = (A_i \times F_{A_i} \times m_{17} \times 100) / (A_{17} \times F_{A_{17}} \times m_{\text{vz.}}) \quad \dots(12)$$

kjer je:

C...	koncentracija posamezne MK (mg/100 g)
A _i ...	površina posamezne MK
F _{A_i} ...	koeficient posamezne MK (molska masa MK/molska masa metilnega estera MK)
m ₁₇ ...	masa internega standarda (C 17:0)
A ₁₇ ...	površina internega standarda
F _{A_i17} ...	koeficient internega standarda (molska masa C 17:0/molska masa metilnega estera heptadekanojske kisline) = 0,9508
m _{vz} ...	masa vzorca

Koncentracijo posameznih nenasičenih maščobnih kislin smo izračunali po enačbi:

$$C \text{ (mg / 100g)} = (A_i \times F_{A_i} \times m_{19:1t} \times 100) / (A_{19:1} \times F_{A_{19:1t}} \times m_{vz}). \quad \dots(13)$$

kjer je:

C...	koncentracija posamezne MK (mg/100 g)
A _i ...	površina posamezne MK
F _{A_i} ...	koeficient posamezne MK (molska masa MK/molska masa metilnega estera MK)
m _{19:1t} ...	masa internega standarda (C19:1-t10)
A _{19:1t} ...	površina internega standarda
F _{A_i19:1t}	koeficient internega standarda (molska masa C19:1-t10/molska masa metilnega estera C19:1-t10 = 0,9518
m _{vz} ...	masa vzorca

Masni delež vsake MK v vzorcu smo določali s pomočjo odzivnostnega koeficienta in koeficienta transformacije maščobne kisline iz odgovarjajočega metilnega estera MK. Odzivnostni koeficient smo določali s pomočjo standardne raztopine metilnih estrov maščobnih kislin, ki imajo setavo podano v utežnem deležu.

3.3 DOLOČANJE POLARNIH KOMPONENT

Vsebnost polarnih komponent je dober indikator kvalitete olja med cvrenjem. Novo nastale spojine med cvrenjem so bolj polarne kot triacilgliceroli. Polarne spojine so ena izmed limitirajočih dejavnikov, ki vplivajo na dolžino časa uporabnosti olja za cvrenje. V to skupino nastalih spojin spadajo polimerizirani triacilgliceroli, oksidirani triacilgliceroli in diacilgliceroli (Dobarganes, 2000).

Delež polarnih komponent smo merili s pomočjo naprave Testo 265 cooking oil tester, saj je bila že leta 1994 potrjena visoka (0,99) korelacija med izmerjeno dielektričnostjo konstanto in deležem polarnih komponent določenih z metodo predpisano po AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (Wegmüller, 1994; Wegmüller, 1998). Aparat neposredno izmeri delež polarnih spojin v olju pri temperaturah olja od 40 °C do 210 °C.

Vzorke smo vzeli iz zamrzovalnika, jih segreli na 55 °C ter jim določili delež polarnih spojin.

3.4 DOLOČEVANJE KONJUGIRANIH DIENOV V UV OBMOČJU

Kvantitativno smo konjugirane diene ter triene v vzorcih določili z uporabo spektrofotometrične analize v UV območju po akreditirani metodi, opisani v prilogi IX Uredbe Komisije št. 2568/91 (Uredba komisije, 1991).

V 10 ml bučke smo zatehtali 100 mg vzorca in ga razredčili z izooktanom do oznake. S spektrofotometrom Alpha Omega Agilent 8453 smo izmerili absorbanco pri 232 in 268 nm. Konjugirane diene ter triene smo določevali v treh paralelkah.

Rezultate smo predstavili kot specifični absorpcijski koeficient $E_{1cm}^{1\%}$ pri 232 nm, ki smo ga izračunali po enačbi:

$$E_{1cm}^{1\%}(232) = \frac{A_{232}}{C * d'} \quad \dots(14)$$

kjer je: A_{232} absorbanca pri valovni dolžini 232 nm, C koncentracija raztopine maščobe v izooktanu (1,0 g/100 ml) in d' dolžina celice oz. kivete (cm). Za slepi vzorec smo uporabili čisto topilo izooktan.

Rezultate smo predstavili kot specifični absorpcijski koeficient $E_{1cm}^{1\%}$ pri 268 nm,

izračunano po enačbi:

$$E_{1cm}^{1\%}(268) = \frac{A_{268}}{C * d'} \quad \dots(15)$$

kjer je: A_{268} absorbanca pri valovni dolžini 268 nm, C koncentracija raztopine maščobe v izooktanu (1,0 g/100 ml) in d' dolžina celice oz. kivete (cm). Za slepi vzorec smo uporabili čisto topilo izooktan.

3.5 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Za statistično obdelavo podatkov smo uporabili programski paket SAS/STAT (SAS Software, Version 0.01, 1999). Pri analizah dobljene podatke smo pripravili in uredili s programom EXCEL XP. Osnovne statistične parametre smo izračunali s postopkom MEANS, s postopkom UNIVARIANTE pa smo podatke testirali na normalnost

porazdelitve. Pri obdelavi podatkov s statističnim modelom smo uporabili postopek GLM (General Linear Model).

V statistične modele smo vključili več vplivov ter interakcijo teh vplivov. Srednje vrednosti za eksperimentalne skupine so bile izračunane z uporabo Duncanovega testa in primerjane pri 5 % tveganju.

Statistični model za maščobnokislinsko sestavo segretega sončničnega olja ob dodatku antioksidantov:

$$y_{ij} = \mu + A_i + S_j + A * S_{ij} + e_{ij} \quad \text{Statistični model 1.}$$

kjer je:

y_{ij}	opazovana vrednost
μ	povprečna vrednost
A_i	vpliv dodanega antioksidanta v treh koncentracijah: SO, SOR2, SOR4, SOR10 ali SOL0,1, SOL0,2, SOL0,5
S_j	vpliv segrevanja 0, 24, 48, 72 in 120 ur: pred segrevanjem in po njem
$A * S_{ij}$	interakcija dodatka antioksidanta in segrevanja
e_{ij}	ostanek

4 REZULTATI

Vzorci v nadaljevanju besedila so označeni z SO, SOK, SOR ter SOL, kjer je: SO kontrola (čisto sončnično olje), SOK; kontrola s krompirjem – pomfrijem, SOR; vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina ter SOL; vzorec olja z dodanim luteinom. Vzorci SOR so trije, ker smo uporabili tri različne koncentracije antioksidanta; enako velja za vzorce SOL.

4.1 REZULTATI DOLOČANJA POLARNIH KOMPONENT V VZORCIH OLJA Z DODATKOM DVEH RAZLIČNIH ANTIOKSIDANTOV OB RAZLIČNIH ČASIH TOPLLOTNE OBDELAVE

Meritve polarnih komponent so bile opravljene v treh zaporednih poskusih, pri temperaturi olja 55 °C. Rezultati, podani v Preglednicah 7, 8 in 9, predstavljajo povprečno vrednost izmerjenih treh meritev. Pri večini vzorcev so bile izmerjene vrednosti v vseh treh ponovitvah enake.

Preglednica 7: Delež polarnih komponent (%) v olju ob različnem času toplotne obdelave (SO – kontrolni vzorec sončničnega olja, SOK – kontrolni vzorec sončničnega olja s krompirjem)

Toplotna obdelava – čas (ure)	Polarne komponente (%)	
	SO	SOK
0	8,5	8,0
24	13,5	13,5
48	17,5	18,5
72	22,0	24,0
96	26,0	29,5
120	31,5	36,0

Preglednica 8: Delež polarnih komponent (%) v olju z dodatkom ekstrakta rožmarina (SOR) v različnih koncentracijah ob različnem času toplotne obdelave sončničnega olja

Toplotna obdelava – čas (ure)	Polarne komponente (%)		
	SOR c = 2 g/kg	SOR c = 4 g/kg	SOR c = 10 g/kg
0	8,5	8,5	8,5
24	14,5	14,0	14,5
48	20,5	20,0	20,5
72	26,0	26,0	26,0
96	32,0	32,0	32,0
120	38,5	39,0	38,5

Preglednica 9: Delež polarnih komponent (%) v olju z dodatkom luteina (SOL) v različnih koncentracijah ob različnem času toplotne obdelave sončničnega olja

Toplotna obdelava – čas (ure)	Polarne komponente (%)		
	SOL c = 0,1 g/kg	SOL c = 0,2 g/kg	SOL c = 0,5 g/kg
0	9,5	12,0	12,0
24	15,5	16,5	19,0
48	21,0	21,5	24,0
72	27,0	26,0	30,0
96	32,5	31,0	34,5
120	42,0	42,0	41,0

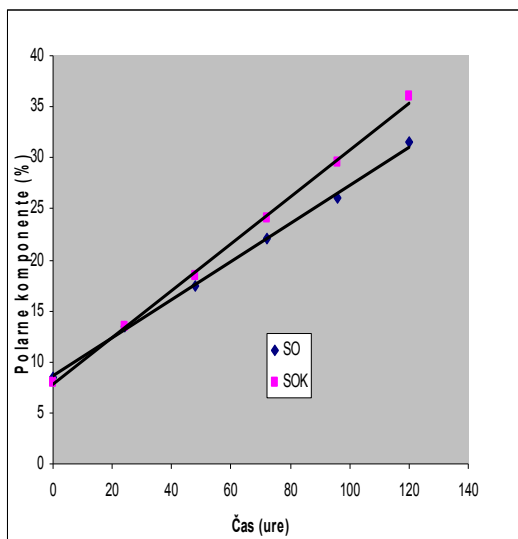
Najnižji deleži polarnih spojin pri vseh časih toplotne obdelave so izmerjene pri vzorcu SO – pri kontroli (Preglednica 7). Vzrok za to lahko verjetno pripišemo dejstvu, da to olje ni bilo obremenjeno s kakršnikoli dodatki. V olju se ni cvrlo živilo, niti mu ni bil dodan noben antioksidant. Medtem ko so pri kontroli s pomfrijem doseženi znatno višji deleži polarnih komponent, čeprav so začetne enake kot pri kontroli brez pomfrija. Do sprememb med kontrolnima vzorcema pride ob času segrevanja 48 h in nato znatno hitreje nastajajo polarne komponente pri olju s pomfrijem ter dosežejo vsebnost 36 %.

Najvišje končne vrednosti deležev polarnih komponent so izmerjene pri vzorcih olja z dodatkom luteina, tu narastejo tudi do 42 %. So pa pri vzorcih SOL izmerjeni najvišji deleži polarnih spojin tudi ob času 0 h. Iz tega lahko sklepamo, da vsebuje sam dodatek luteina nekaj polarnih spojin. Kajti pri večji koncentraciji dodanega luteina so izmerjeni višji deleži polarnih spojin tudi na začetku.

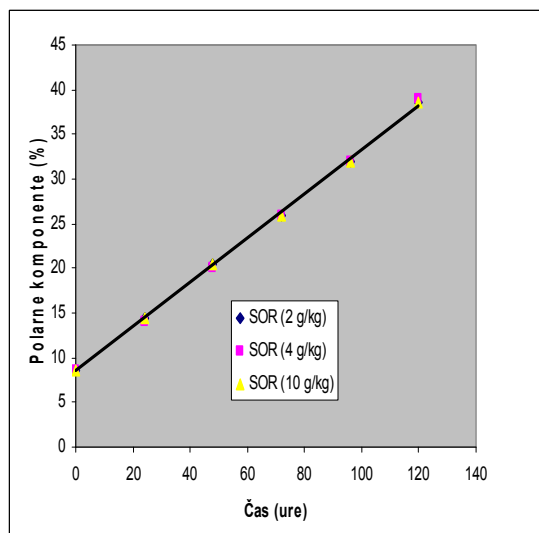
Količina novonastalih polarnih komponent med časoma 0 h in 120 h (torej brez tistih, ki so že prisotne ob času 0 h) pa pada z naraščajočo se količino dodatka luteina, kar smo tudi pričakovali. Pri dodatku luteina s koncentracijo 0,1 g/kg se poveča delež polarnih spojin za 32,5 %, pri dodatku luteina s koncentracijo 0,2 g/kg se poveča za 30 % in pri dodatku s koncentracijo 0,5 g/kg le za 29 %. S tem ugotovimo, da se tudi z najvišjo koncentracijo dodatka luteina še nismo približali prooksidativnemu učinku.

Pri vzorcih olja z dodatkom ekstrakta rožmarina smo izmerili nižje končne deleže polarnih komponent kot pri vzorcih SOL, ne smemo pa spregledati, da so tudi začetne vrednosti nižje. Pri vzorcih SOR ni bistvenih razlik med dodanimi različnimi koncentracijami ekstrakta. Pri vseh časih toplotne obdelave vseh različnih koncentracij dodatka dosežajo vzorci skoraj identične vrednosti. Iz teh podatkov sledi, da različne koncentracije ekstrakta rožmarina kot antioksidanta ne vplivajo značilno na nastanek polarnih komponent med cvrenjem. Večji učinek je bil viden pri uporabi luteina, čeprav pa so tam doseženi višji končni deleži.

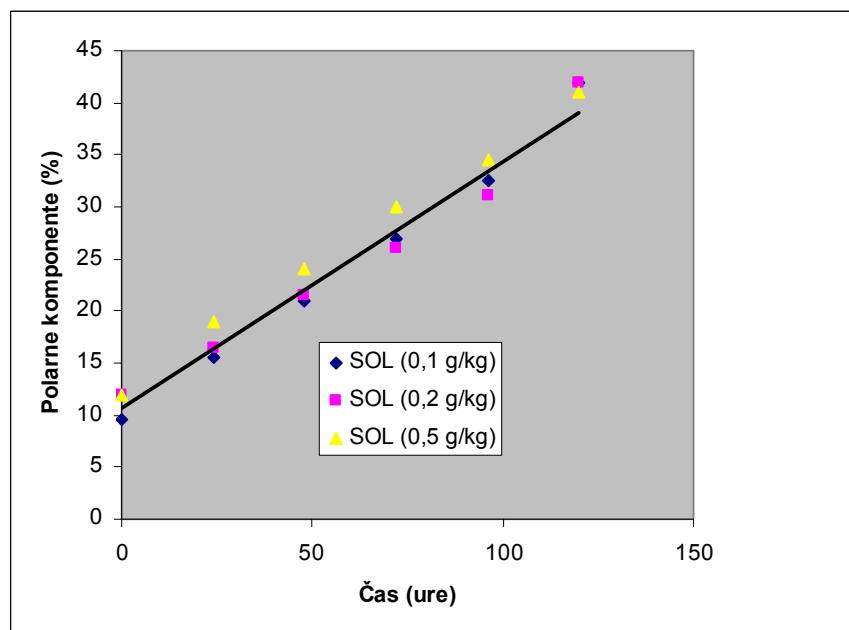
Pri vseh poskusih se delež polarnih spojin najbolj poveča med zadnjima merjenjema, torej med časoma 96 h in 120 h. To je skupno vsem osmim vzorcem sončničnega olja. Do časa segrevanja 96 h vsebnosti pri vseh vzorcih naraščajo bolj ali manj premosorazmerno, nato pa hitreje narastejo (to je še posebej razvidno z grafov 1, 2, 3). Očitno je, da je 5. dan (čas segrevanja 120 h) kakovost olja že zelo poslabšana. To je posebej vidno pri vzorcih z dodatkom luteina (Slika 15).



Slika 13: Delež polarnih komponent (%) v odvisnosti od časa toplotne obdelave sončničnega olja, kontrola (◆), kontrola s krompirjem (■)



Slika 14: Delež polarnih komponent (%) v odvisnosti od časa toplotne obdelave sončničnega olja, vzorci olja z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah



Slika 15: Delež polarnih komponent (%) v odvisnosti od časa toplotne obdelave sončničnega olja, vzorci olja z dodanim luteinom v različnih koncentracijah

4.2 REZULTATI ANALIZ DOLOČANJA KONJUGIRANIH DIENOV V UV OBMOČJU

4.2.1 Merjenje absorbance pri 232 nm

Konjugirane diene smo določili z merjenjem absorbance na spektrofotometru pri valovni dolžini 232 nm. Tako pridobljeni rezultati so izraženi kot specifični absorpcijski koeficient $E_{1cm}^{1\%}$ in so podani v Preglednicah 10 in 11.

Preglednica 10: Specifični absorpcijski koeficient (232 nm) v vseh vzorcih sončičnega olja po različnem času toplotne obdelave

Čas (ure)	SO	SOK	SOR 2	SOR 4	SOR 10	SOL 0,1	SOL 0,2	SOL 0,5	p vrednost
0	3,27±0,01 ^d	3,02±0,00 ^e	3,43±0,06 ^e	3,47±0,03 ^c	3,50±0,08 ^c	3,73±0,04 ^b	3,81±0,01 ^a	3,76±0,02 ^{ab}	<.0001
24	10,44±0,02 ^f	12,63±0,10 ^e	13,97±0,07 ^a	13,57±0,02 ^b	13,49±0,01 ^c	13,69±0,14 ^b	13,08±0,03 ^d	12,31±0,05 ^f	<.0001
48	17,85±0,05 ^b	18,85±0,09 ^a	17,59±0,10 ^e	17,31±0,02 ^d	17,84±0,02 ^b	17,85±0,04 ^b	17,83±0,06 ^b	17,37±0,02 ^d	<.0001
72	21,98±0,13 ^a	22,01±0,09 ^a	21,73±0,02 ^b	21,25±0,12 ^c	21,19±0,08 ^c	21,55±0,01 ^b	21,10±0,19 ^d	20,89±0,00	<.0001
96	25,54±0,00	25,49±0,00	24,91±0,00	24,67±0,00	24,11±0,00	24,87±0,00	24,54±0,00	24,13±0,00	<.0001
120	29,82±0,12 ^a	28,09±0,02 ^c	28,62±0,05 ^b	28,36±0,45 ^b	28,10±0,07 ^c	28,06±0,02 ^c	27,29±0,10 ^d	27,05±0,03 ^d	<.0001

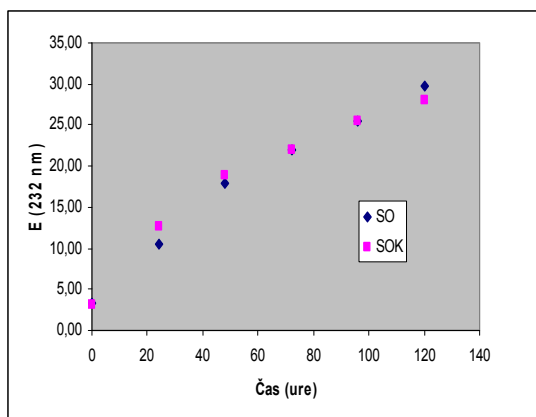
$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom

Rezultati izpolnjujejo naša pričakovanja. Zanje je značilen tudi statistično velik vpliv dodatka antioksidanta in njegove koncentracije (Preglednica 10). Med segrevanjem se vrednosti povečujejo, najvišje vrednosti so dosežene pri kontroli (vzorec olja brez česar koli dodanega) in kontroli s krompirjem. V teh dveh primerih ni bil dodan noben antioksidant.

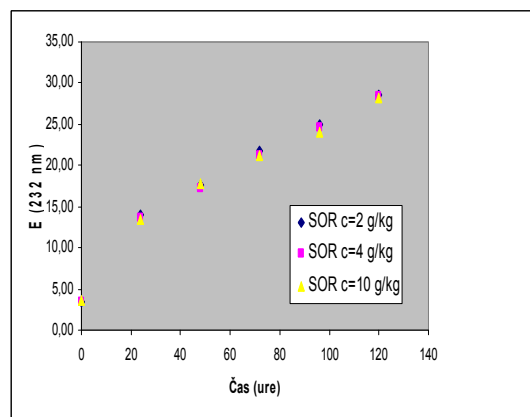
Najnižje končne vrednosti so izmerjene pri vzorcih z dodatkom luteina, čeprav so pri teh vzorcih ob času 0h najvišje vrednosti. Razlog za to gre verjetno pripisati sami naravi luteina in njegovi močni obarvanosti. Lutein v naših vzorcih deluje kot antioksidant, kar je razvidno iz preglednice 10. Prav tako lahko potrdimo našo hipotezo, da je njegovo delovanje funkcija koncentracije – večji antioksidativni učinek pri višji koncentraciji. Razlike so statistično značilne pri rožmarinu med največjim dodatkom in ostalima dvema, niso pa statistično značilne med prvim in drugim dodatkom. Pri dodatku luteina je najvišja vrednost specifične ekstinkcije dosežena ob najmanjšem dodatku luteina, medtem ko se vrednosti pri drugem in tretjem dodatku vrednosti ne ločijo statistično značilno. Pri najnižjem dodatku luteina izmerjene vrednosti celo enake kot pri vzorcu SOK.

Pri rožmarinu so končne vrednosti nekoliko višje kot pri dodatku luteina, celo višje v primerjavi z vzorcem SOK.

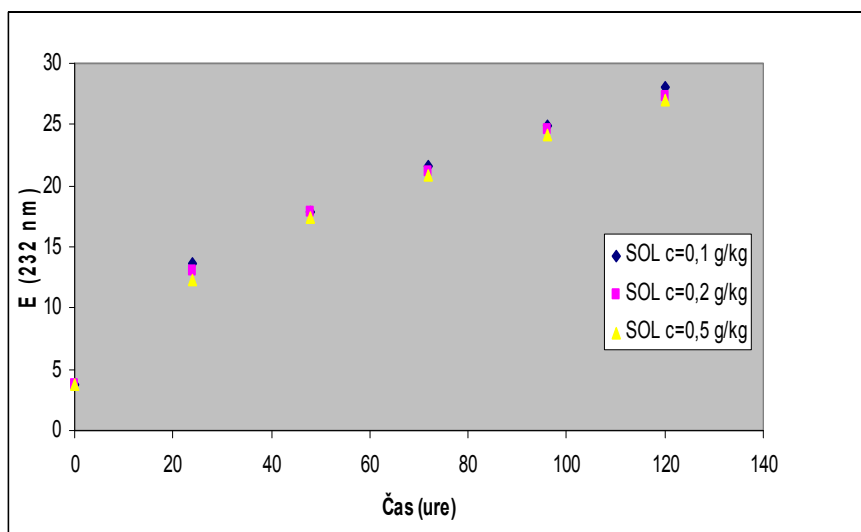
Na vseh slikah se vidi, da pri vseh vzorcih vrednosti specifičnega absorpcijskega koeficienta najbolj narastejo med 0 h in 24 h – na začetku segrevanja, manjši porast pa je opaziti proti koncu toplotne obdelave.



Slika 16: Specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave sončničnega olja; kontrola (♦), kontrola s krompirjem (■)



Slika 17: Specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri sončničnem olju z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah



Slika 18: Specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri sončničnem olju z dodanim luteinom v različnih koncentracijah

4.2.2 Merjenje absorbance pri 268 nm

Konjugirane triene smo določili z merjenjem absorbance na spektrofotometru pri valovni dolžini 268 nm. Tako pridobljeni rezultati so izraženi kot specifični absorpcijski koeficient $E_{1cm}^{1\%}$ in so podani v preglednici 11.

Preglednica 11: Specifični absorpcijski koeficient (268 nm) v vseh vzorcih sončničnega olja po različnem času toplotne obdelave

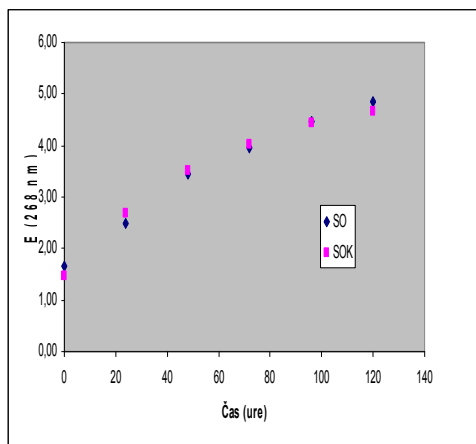
Čas (ure)	SO	SOK	SOR 2	SOR 4	SOR 10	SOL 0,1	SOL 0,2	SOL 0,5	<i>p</i> vrednost
0	1,65±0,06 ^e	1,46±0,02 ^{de}	1,82±0,07 ^{cd}	1,83±0,03 ^{cd}	1,89±0,02 ^{cd}	2,27±0,45a	2,05±0,01 ^{ab}	2,09±0,03 ^{ab}	<.0001
24	2,48±0,05 ^e	2,67±0,01 ^c	2,76±0,02 ^b	2,79±0,01 ^b	2,54±0,03 ^d	3,17±0,00a	3,20±0,01 ^a	3,18±0,01 ^a	<.0001
48	3,43±0,02 ^d	3,52±0,01 ^e	3,46±0,03 ^e	3,43±0,01 ^e	3,35±0,00 ^f	3,73±0,02b	3,77±0,01 ^a	3,67±0,02 ^c	<.0001
72	3,96±0,02 ^c	4,02±0,00 ^b	3,87±0,00 ^d	3,85±0,00 ^d	3,78±0,02 ^e	4,12±0,01 ^a	4,12±0,00 ^a	4,09±0,00	<.0001
96	4,46144±0,0	4,44±0,00	4,37±0,00	4,24±0,00	4,09±0,00	4,39±0,00	4,38±0,00	4,35±0,00	<.0001
120	4,86±0,00 ^a	4,64±0,07 ^c	4,69±0,00 ^b	4,69±0,00 ^b	4,54±0,01 ^e	4,66±0,01b ^c	4,62±0,00 ^{cd}	4,59±0,00 ^d	<.0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom

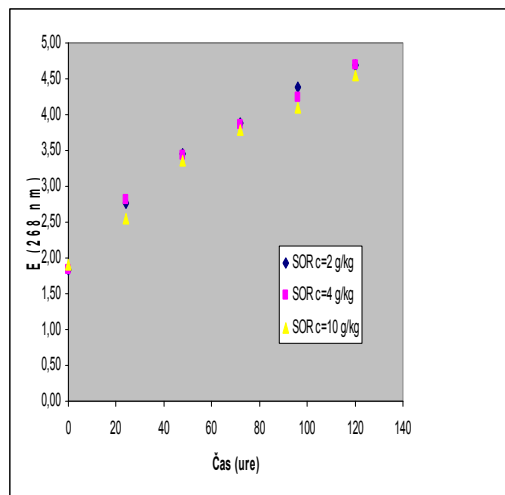
Rezultati kažejo na statistično visok vpliv dodatka antioksidanta in njegove koncentracije. Iz rezultatov, navedenih v preglednici 11, lahko pridemo do podobnih zaključkov kot pri konjugiranih dienih.

Največ konjugiranih trienov nastane pri kontrolnem vzorcu, najmanj pa pri dodanih najvišjih koncentracijah obeh antioksidantov. Začetne vrednosti so najvišje pri dodatku luteina, kar pomeni, da sam dodatek obeh antioksidantov poveča specifično ekstinkcijo.

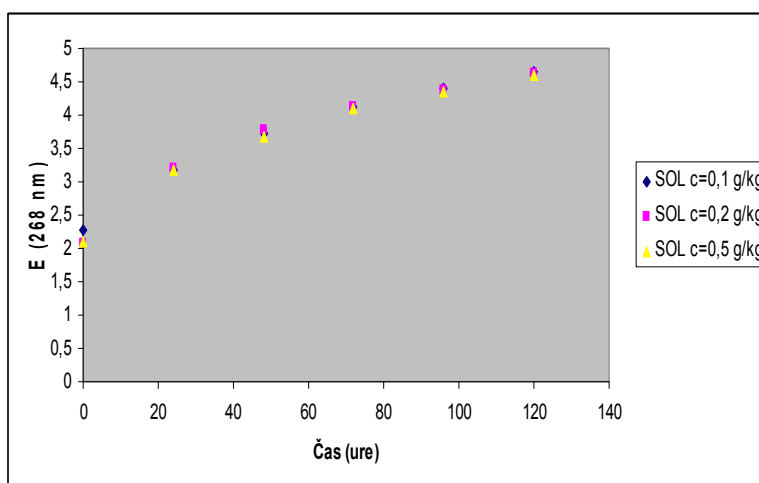
Vrednosti konjugiranih trienov najbolj narastejo med 0 h in 24 h, torej na začetku. Dodatek obeh antioksidantov statistično značilno zmanjša specifični absorpcijski koeficient. V primeru dodatka obeh antioksidantov so razlike v specifičnem absorpcijskem koeficientu le pri najvišji koncentraciji, medtem ko razlike med prvim in drugim dodatkom niso statistično značilne.



Slika 19: Specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave sončničnega olja; kontrola (◆), kontrola s krompirjem (■)



Slika 20: Specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri sončničnem olju z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah



Slika 21: Specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm v odvisnosti od časa toplotne obdelave pri sončničnem olju z dodanim luteinom v različnih koncentracijah

4.3 MAŠČOBNOKISLINSKA SESTAVA OLJA Z DODATKOM ANTIOKSIDANTOV PO RAZLIČNEM ČASU TOPLOTNE OBDELAVE

Rezultati analiz maščobnokislinske sestave so podani v preglednicah 13–25. Navedeni so povprečni masni deleži (%) posameznih maščobnih kislin glede na skupne maščobne kisline ob času 0, 24, 48, 72 in 120 ur tekom toplotne obdelave. Preglednice št. 13–20 podajajo rezultate sestave za vsak posamezen vzorec. Preglednice 21–25 pa združujejo podatke za vsak posamezen čas toplotne obdelave za vse vzorce olja.

Preglednica 12: Vpliv vira variabilnosti na posamezno maščobno kislino

Vir variabilnosti (<i>p</i> vrednost) Maščobna kislina	Čas	Antioksidant	Interakcija čas * antioksidant
C14:0	0,0172	0,5314	0,7526
C15:1, c-5	0,0607	0,6076	0,3376
C16:0	<0,0001	0,0049	0,2186
C16:1, c-9	<0,0001	0,0264	0,0444
C18:0	0,0023	0,0158	0,1501
C18:1, t-9	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C18:1, c-9	0,0600	0,2030	0,0356
C18:2, t-9, t-12	<0,0001	0,0611	0,0019
C18:2, c-9, t-12	<0,0001	0,2426	0,0183
C18:2, t-9, c-12	<0,0001	0,1903	0,0011
C18:2, c-9, c-12	0,1216	0,1553	0,2692
C22:0	0,0909	0,5915	0,8642
C24:0	0,0364	0,0876	0,1026
NMK	0,0382	0,0005	0,2038
EnNMK	0,2235	0,3897	0,1858
VNMK	0,4076	0,0833	0,1590
N6	0,4076	0,0833	0,1590
VNMK/NMK	0,4065	0,0051	0,2239
TMK	0,0115	<0,0001	0,0021

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 12 podaja, ali ima določen vir variabilnosti (čas, dodatek antioksidanta, interakcija časa * antioksidant) statistično značilen vpliv na posamezno maščobno kislino. Čas toplotne obdelave statistično značilno vpliva na vsebnost vseh *trans* maščobnih kislin (C18:1, t-9; C18:2, t-9, t-12; C18:2, c-9, t-12; skupne *trans* maščobne kisline) na vsebnost nasičenih maščobnih kislin (C14:0; C16:0; C18:0; C24:0) ter na vsebnost enkrat nenasičene maščobne kisline C16:1, c-9. Dodatek antioksidanta ima značilen vpliv na vsebnost *trans* oleinske kisline (C18:1, t-9), na vsebnost nasičenih maščobnih kislin (C16:0; C18:0;), na vsebnost enkrat nenasičene maščobne kisline C16:1, c-9. Interakcija čas*antioksidant ima značilen vpliv na vse *trans* maščobne kisline ter na vsebnost enkrat nenasičene maščobne kisline C16:1, c-9.

Maščobnokislinska sestava sončničnega olja ob času 0 h kaže, da med nasičenimi maščobnimi kislinami prevladujeta palmitinska ($9,2 \pm 0,5$ g/100g MK) ter stearinska ($5,2 \pm 0,3$ g/100g MK). Pri mononenasičenih maščobnih kislinah prevladuje oleinska kislina ($36,6 \pm 2,0$ g/100g MK), med večkrat nenasičenimi pa prevladuje linolna kislina ($45,3 \pm 3,2$ g/100g MK). Razlike v maščobnokislinski sestavi ob času 0 ur so posledica variabilnosti.

Preglednica 13: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) kontrole v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času (ure) Maščobna kislina	SO (0)	SO (24)	SO (48)	SO (72)	SO (120)	<i>p</i> vrednost
C14:0	0,09±0,00 ^a	0,08±0,01 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,4864
C15:1, c-5	0,09±0,00 ^a	0,12±0,03 ^a	0,12±0,00 ^a	0,12±0,00 ^a	0,00±0,00	0,743
C16:0	9,24±0,50 ^a	8,58±0,12 ^a	8,71±0,17 ^a	8,55±0,32 ^a	7,41±4,23 ^a	0,7665
C16:1, c-9	0,16±0,04 ^a	0,29±0,07 ^a	0,23±0,04 ^a	0,26±0,08 ^a	0,30±0,00 ^a	0,1931
C18:0	5,20±0,32 ^{ab}	4,80±0,04 ^b	4,87±0,08 ^b	4,82±0,12 ^b	5,50±0,39 ^a	0,0049
C18:1, t-9	0,80±0,03 ^c	0,93±0,02 ^d	1,13±0,03 ^c	1,32±0,04 ^b	1,60±0,07 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	36,57±2,00 ^b	38,56±2,74 ^a	35,78±4,23 ^a	36,37±1,70 ^a	37,71±3,89 ^a	0,0541
C18:2, t-9, t-12	0,53±0,07 ^a	0,60±0,07 ^a	0,56±0,10 ^a	0,57±0,05 ^a	0,59±0,04 ^a	0,7388
C18:2, c-9, t-12	0,26±0,05 ^b	0,31±0,01 ^a	0,30±0,03 ^{ab}	0,30±0,02 ^{ab}	0,32±0,01 ^a	0,0876
C18:2, t-9, c-12	0,21±0,04 ^b	0,26±0,01 ^a	0,25±0,03 ^a	0,25±0,02 ^a	0,28±0,02 ^a	0,0171
C18:2, c-9, c-12	45,33±3,16 ^a	44,22±1,43 ^b	46,77±0,81 ^b	46,19±0,43 ^b	45,89±1,75 ^b	0,0547
C20:0	0,31±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,82±0,00 ^b	0,90±0,01 ^a	0,91±0,00 ^a	0,89±0,00 ^a	0,00±0,00	0,0263
C24:0	0,39±0,03 ^a	0,35±0,01 ^b	0,37±0,01 ^{ab}	0,36±0,00 ^{ab}	0,40±0,00 ^a	0,0447
NMK	15,17±0,58 ^a	14,46±0,40 ^a	14,17±0,70 ^a	14,03±0,60 ^a	13,01±3,98 ^a	0,6237
EnNMK	37,69±2,23 ^b	39,90±1,15 ^a	37,26±4,90 ^{ab}	38,07±0,77 ^a	39,61±3,25 ^a	0,062
VNMK	46,33±3,17 ^a	45,21±1,35 ^b	47,92±0,70 ^b	47,30±0,48 ^b	47,09±1,79 ^b	0,065
N6	46,33±3,17 ^a	45,21±1,35 ^b	47,92±0,70 ^b	47,30±0,48 ^b	47,09±1,79 ^b	0,065
VNMK/NMK	3,05±0,30 ^a	3,12±0,11 ^a	3,38±0,13 ^a	3,37±0,17 ^a	3,62±1,80 ^a	0,7382
TMK	1,80±0,01 ^c	2,10±0,05 ^d	2,24±0,01 ^c	2,44±0,09 ^b	2,79±0,02 ^a	<0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 14: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) kontrole z dodanim krompirjem v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času(ure) Maščobna kislina	SOK (0)	SOK (24)	SOK (48)	SOK (72)	SOK (120)	<i>P</i> vrednost
C14:0	0,09±0,01 ^a	0,08±0,001 ^a	0,09±0,00 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,5609
C15:1, c-5	0,10±0,01 ^b	0,09±0,02 ^b	0,10±0,00 ^b	0,18±0,00 ^a	0,00±0,00	0,004
C16:0	9,12±0,45 ^{ab}	8,67±0,07 ^b	9,03±0,32 ^{ab}	8,94±0,19 ^b	9,48±0,21 ^a	0,0372
C16:1, c-9	0,22±0,04 ^a	0,22±0,08 ^a	0,21±0,08 ^a	0,33±0,19 ^a	0,32±0,00 ^a	0,4604
C18:0	5,20±0,23 ^a	4,91±0,06 ^b	5,01±0,15 ^{ab}	4,96±0,03 ^{ab}	5,17±0,09 ^a	0,0675
C18:1, t-9	0,84±0,03 ^c	1,17±0,02 ^d	1,38±0,03 ^c	1,64±0,04 ^b	1,82±0,03 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	36,79±2,36 ^a	36,10±5,49 ^a	32,24±7,33 ^a	34,94±3,14 ^a	34,41±3,26 ^a	0,6298
C18:2, t-9, t-12	0,57±0,04 ^a	0,55±0,11 ^a	0,48±0,16 ^a	0,62±0,11 ^a	0,55±0,07 ^a	0,5096
C18:2, c-9, t-12	0,22±0,06 ^b	0,29±0,04 ^{ab}	0,27±0,07 ^{ab}	0,32±0,01 ^a	0,33±0,02 ^a	0,0672
C18:2, t-9, c-12	0,21±0,02 ^b	0,24±0,04 ^{ab}	0,26±0,04 ^a	0,28±0,01 ^a	0,29±0,02 ^a	0,0181
C18:2, c-9, c-12	45,31±3,74 ^a	46,11±2,22 ^a	49,27±1,52 ^a	46,29±0,98 ^a	46,29±0,65 ^a	0,9296
C20:0	0,00±0,00	0,32±0,00	0,33±,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,94±0,09 ^a	0,89±0,02 ^a	0,96±0,04 ^a	0,00±0,00 ^a	0,96±0,0 ^a	0,739
C24:0	0,39±0,02 ^a	0,36±0,00 ^b	0,37±0,01 ^{ab}	0,37±0,0 ^{ab}	0,38±0,00 ^{ab}	0,0783
NMK	15,69±0,77 ^a	15,01±0,07 ^{ab}	15,00±1,14 ^{ab}	14,28±0,23 ^b	15,28±0,64 ^{ab}	0,2165
EnNMK	37,95±3,59 ^a	37,75±6,74 ^a	33,93±1,95 ^a	37,09±0,63 ^a	36,55±0,76 ^a	0,9423
VNMK	46,47±3,66 ^a	47,19±2,04 ^a	50,22±1,26 ^a	47,51±0,87 ^a	47,46±0,62 ^a	0,9245
N6	46,47±3,66 ^a	47,19±2,04 ^a	50,22±1,26 ^a	47,51±0,87 ^a	47,46±0,62 ^a	0,9245
VNMK/NMK	2,96±0,28 ^b	3,14±0,12 ^{ab}	3,34±0,21 ^{ab}	3,19±0,03 ^a	3,11±0,51 ^{ab}	0,2301
TMK	1,84±0,01 ^c	2,25±0,15 ^d	2,39±0,04 ^c	2,86±0,05 ^b	2,99±0,05 ^a	<0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 15: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim ekstraktom rožmarina (c= 2 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času (ure)	SOR 2 (0)	SOR 2 (24)	SOR 2 (48)	SOR 2 (72)	SOR 2 (120)	p vrednost
Maščobna kislina						
C14:0	0,08±0,00 ^a	0,09±0,00 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,8303
C15:1, c-5	0,10±0,03 ^a	0,10±0,01 ^a	0,12±0,00 ^a	0,14±0,01 ^a	0,00±0,00	0,5338
C16:0	8,70±0,20 ^a	9,01±0,28 ^a	9,29±0,37 ^a	8,71±0,18 ^a	8,92±1,44 ^a	0,7611
C16:1, c-9	0,22±0,09 ^{ab}	0,21±0,05 ^{ab}	0,26±0,10 ^{ab}	0,32±0,09 ^a	0,28±0,12 ^b	0,1534
C18:0	5,08±0,23 ^a	5,06±0,20 ^a	5,46±0,76 ^a	4,86±0,09 ^a	4,84±0,77 ^a	0,5378
C18:1, t-9	0,78±0,02 ^c	0,94±0,02 ^d	1,12±0,05 ^c	1,25±0,03 ^b	1,48±0,02 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	35,52±4,57 ^a	35,22±0,74 ^a	38,71±4,67 ^a	38,10±0,92 ^a	35,86±3,19 ^a	0,2201
C18:2, t-9, t-12	0,53±0,10 ^b	0,53±0,01 ^b	0,57±0,06 ^{ab}	0,66±0,01 ^a	0,49±0,07 ^b	0,0532
C18:2, c-9, t-12	0,25±0,01 ^c	0,27±0,01 ^c	0,31±0,01 ^b	0,33±0,01 ^a	0,30±0,02 ^b	0,0001
C18:2, t-9, c-12	0,21±0,01 ^c	0,23±0,01 ^c	0,27±0,01 ^b	0,29±0,00 ^a	0,26±0,02 ^b	0,0001
C18:2, c-9, c-12	46,96±2,75 ^a	47,03±1,02 ^a	42,49±3,77 ^a	44,50±0,53 ^a	46,69±2,33 ^a	0,395
C20:0	0,33±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,87±0,06 ^a	0,93±0,02 ^a	0,96±0,0 ^a	0,00±0,00	0,96±0,00 ^a	0,3653
C24:0	0,37±0,02 ^a	0,38±0,02 ^a	0,44±0,14 ^a	0,36±0,01 ^a	0,35±0,06 ^a	0,5434
NMK	15,43±0,35 ^a	15,09±0,87 ^a	15,42±1,21 ^a	13,93±0,26 ^a	14,44±2,61 ^a	0,6455
EnNMK	36,62±1,20 ^a	36,47±0,24 ^a	40,21±2,42 ^a	39,81±0,37 ^a	37,42±6,13 ^a	0,2953
VNMK	47,95±2,61 ^a	48,06±1,00 ^a	43,62±3,71 ^a	45,79±0,54 ^a	47,74±2,32 ^a	0,3839
N6	47,95±2,61 ^a	48,06±1,00 ^a	43,62±3,71 ^a	45,79±0,54 ^a	47,74±2,32 ^a	0,3839
VNMK/NMK	3,11±0,23 ^a	3,18±0,24 ^a	2,83±0,42 ^a	3,28±0,10 ^a	3,31±0,82 ^a	0,5423
TMK	1,77±0,09 ^a	1,97±0,05 ^b	2,26±0,06 ^c	2,53±0,04 ^d	2,53±0,10 ^d	0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 16: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim ekstraktom rožmarina (c= 4 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času (ure) Maščobna kislina	SOR 4 (0)	SOR 4 (24)	SOR 4 (48)	SOR 4 (72)	SOR 4 (120)	<i>P</i> vrednost
C14:0	0,08±0,01 ^a	0,00±0,00	0,09±0,00 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,4298
C15:1, c-5	0,12±0,00 ^a	0,13±0,00 ^a	0,12±0,01 ^a	0,16±0,02 ^a	0,12±0,00 ^a	0,3411
C16:0	8,54±0,18 ^a	8,84±0,68 ^a	9,41±0,40 ^a	9,31±1,08 ^a	11,38±3,55 ^a	0,3176
C16:1, c-9	0,17±0,05 ^b	0,23±0,10 ^{ab}	0,30±0,08 ^{ab}	0,40±0,14 ^a	0,29±0,14 ^{ab}	0,1861
C18:0	4,83±0,10 ^a	4,91±0,38 ^a	5,25±0,26 ^a	5,16±0,56 ^a	6,24±1,95 ^a	0,385
C18:1, t-9	0,76±0,04 ^c	0,91±0,01 ^d	1,03±0,02 ^c	1,18±0,01 ^b	1,37±0,08 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	36,06±0,75 ^a	36,86±3,08 ^a	37,71±2,22 ^a	39,04±4,38 ^a	30,26±7,68 ^a	0,1978
C18:2, t-9, t-12	0,53±0,06 ^a	0,58±0,04 ^a	0,58±0,05 ^a	0,67±0,05 ^a	0,56±0,24 ^a	0,6986
C18:2, c-9, t-12	0,27±0,02 ^a	0,31±0,02 ^a	0,32±0,02 ^a	0,31±0,04 ^a	0,36±0,13 ^a	0,5593
C18:2, t-9, c-12	0,22±0,02 ^a	0,26±0,02 ^a	0,27±0,02 ^a	0,27±0,03 ^a	0,31±0,12 ^a	0,4848
C18:2, c-9, c-12	46,91±1,32 ^a	45,15±3,40 ^a	43,56±0,65 ^a	42,16±5,3 ^a	47,43±1,44 ^a	0,242
C20:0	0,31±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,84±0,04 ^a	0,82±0,000 ^a	0,97±0,07 ^a	0,97±0,00 ^a	1,21±0,42 ^a	0,4696
C24:0	0,36±0,01 ^a	0,36±0,02 ^a	0,39±0,02 ^a	0,39±0,04 ^a	0,47±0,15 ^a	0,318
NMK	14,72±0,30 ^a	14,38±1,28 ^a	15,81±0,89 ^a	15,18±1,56 ^a	19,01±6,16 ^a	0,3469
EnNMK	37,11±18,82 ^a	38,13±2,54 ^a	39,16±3,28 ^a	40,78±3,87 ^a	32,04±8,56 ^a	0,0218
VNMK	47,93±1,24 ^a	46,31±3,40 ^a	44,73±0,62 ^a	43,45±5,34 ^a	48,66±1,55 ^a	0,5969
N6	47,93±1,24 ^a	46,31±3,40 ^a	44,73±0,62 ^a	43,45±5,34 ^a	48,66±1,55 ^a	0,5969
VNMK/NMK	3,26±0,12 ^a	3,25±0,51 ^a	2,83±0,15 ^a	2,86±0,62 ^a	2,56±1,38 ^a	0,3757
TMK	1,78±0,06 ^a	2,06±0,06 ^a	2,20±1,00 ^a	2,43±0,09 ^a	2,60±0,06 ^a	<0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 17: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim ekstraktom rožmarina (c= 10 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času (ure) Maščobna kislina	SOR 10 (0)	SOR 10 (24)	SOR 10 (48)	SOR 10 (72)	SOR 10 (120)	p vrednost
C14:0	0,09±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C15:1, c-5	0,09±0,00 ^a	0,15±0,06 ^a	0,18±0,00 ^a	0,13±0,01 ^a	0,00±0,00	0,3817
C16:0	8,83±0,86 ^a	8,75±0,20 ^a	8,14±0,54 ^a	8,71±0,03 ^a	9,45±0,32 ^a	0,3175
C16:1, c-9	0,16±0,05 ^b	0,35±0,2 ^{ab}	0,38±0,08 ^a	0,41±0,06 ^a	0,36±0,05 ^{ab}	0,0693
C18:0	4,94±0,49 ^a	4,88±0,12 ^a	5,10±0,80 ^a	4,83±0,01 ^a	5,20±0,18 ^a	0,3154
C18:1, t-9	0,77±0,03 ^c	0,92±0,01 ^d	0,99±0,01 ^c	1,07±0,02 ^b	1,25±0,01 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	35,94±2,82 ^a	36,52±2,61 ^a	39,32±1,66 ^a	38,79±1,16 ^a	37,11±2,50 ^a	0,1612
C18:2, t-9, t-12	0,52±0,02 ^d	0,57±0,06 ^{cd}	0,64±0,03 ^{cb}	0,68±0,07 ^{ab}	0,73±0,02 ^a	0,0001
C18:2, c-9, t-12	0,24±0,02 ^d	0,28±0,01 ^c	0,32±0,01 ^b	0,33±0,01 ^b	0,35±0,01 ^a	<0,0001
C18:2, t-9, c-12	0,20±0,01 ^d	0,24±0,01 ^c	0,28±0,01 ^b	0,28±0,01 ^b	0,31±0,01 ^a	<0,0001
C18:2, c-9, c-12	46,97±4,83 ^a	46,13±1,57 ^a	42,47±1,99 ^a	43,66±0,14 ^a	44,66±2,33 ^a	0,3259
C20:0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,89±0,13 ^a	0,85±0,09 ^a	0,00±0,00	0,84±0,00 ^a	0,00±0,00	0,9917
C24:0	0,36±0,04 ^a	0,36±0,01 ^a	0,36±0,02 ^a	0,36±0,00 ^a	0,39±0,01 ^a	0,1863
NMK	15,05±1,55 ^a	14,42±0,56 ^a	14,48±0,63 ^a	14,19±0,48 ^a	15,05±0,50 ^a	0,331
EnNMK	36,96±18,66 ^a	37,94±4,10 ^a	40,87±0,96 ^a	40,40±1,59 ^a	38,16±2,67 ^a	0,6138
VNMK	47,93±4,85 ^a	47,22±1,52 ^a	43,35±2,70 ^a	44,95±0,15 ^a	47,06±2,33 ^a	0,3317
N6	47,93±4,85 ^a	47,22±1,52 ^a	43,35±2,70 ^a	44,95±0,15 ^a	47,06±2,33 ^a	0,3317
VNMK/NMK	3,18±0,65 ^a	3,27±0,15 ^a	2,94±1,88 ^a	3,17±0,11 ^a	3,13±0,25 ^a	0,541
TMK	1,73±0,07 ^c	2,01±0,02 ^d	2,23 ±0,07 ^c	2,36±0,08 ^b	2,64±0,16 ^a	0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 18: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim luteinom (c= 0,1 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času (ure) Maščobna kislina	SOL 0,1 (0)	SOL 0,1 (24)	SOL 0,1 (48)	SOL 0,1 (72)	SOL 0,1 (120)	<i>P</i> vrednost
C14:0	0,08±0,00 ^b	0,00±0,00	0,08±0,00 ^{ab}	0,10±0,00 ^a	0,00±0,00	0,0804
C15:1, c-5	0,11±0,03 ^a	0,15±0,00 ^a	0,12±0,00 ^a	0,09±0,00 ^a	0,00±0,00	0,6069
C16:0	8,43±0,19 ^a	8,53±0,17 ^a	9,94±0,89 ^a	8,28±1,45 ^a	10,92±3,53 ^a	0,4267
C16:1, c-9	0,26±0,06 ^a	0,29±0,08 ^a	0,24±0,00 ^a	0,30±0,10 ^a	0,39±0,06 ^a	0,231
C18:0	4,69±0,10 ^a	4,90±0,09 ^a	5,48±1,19 ^a	4,61±0,85 ^a	6,01±1,94 ^a	0,4267
C18:1, t-9	0,84±0,03 ^c	0,96±0,01 ^d	1,11±0,00 ^c	1,26±0,03 ^b	1,34±0,03 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	36,42±1,96 ^a	36,98±1,10 ^a	35,46±0,56 ^b	38,33±2,77 ^a	37,09±0,10 ^a	0,0577
C18:2, t-9, t-12	0,57±0,05 ^{ab}	0,58±0,02 ^{ab}	0,46±0,12 ^b	0,69±0,06 ^{ab}	0,81±0,25 ^a	0,1177
C18:2, c-9, t-12	0,28±0,01 ^a	0,30±0,00 ^a	0,26±0,07 ^a	0,33±0,05 ^a	0,35±0,02 ^a	0,1449
C18:2, t-9, c-12	0,23±0,01 ^{ab}	0,25±0,00 ^{ab}	0,22±0,07 ^b	0,30±0,02 ^a	0,31±0,02 ^a	0,0351
C18:2, c-9, c-12	46,94±1,10 ^c	45,84±1,21 ^c	45,35±1,67 ^c	44,40±4,17 ^b	42,25±1,68 ^a	0,096
C20:0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,81±0,10 ^a	0,85±0,05 ^a	0,89±0,00 ^a	0,94±0,00 ^a	0,00±0,00	0,6289
C24:0	0,34±0,01 ^a	0,37±0,01 ^a	0,36±0,02 ^a	0,37±0,01 ^a	0,53±0,22 ^a	0,2568
NMK	14,08±0,25 ^a	14,64±0,12 ^a	16,75±1,57 ^a	13,44±2,67 ^a	17,19±5,76 ^a	0,4253
EnNMK	37,63±1,26 ^a	38,38±0,92 ^a	36,93±0,37 ^a	39,98±1,83 ^a	38,82±1,93 ^a	0,5599
VNMK	48,02±1,03 ^a	46,70±0,81 ^a	30,79±8,86 ^a	45,72±4,24 ^a	32,35±22,16 ^a	0,6549
N6	48,02±1,03 ^a	46,70±0,81 ^a	30,79±8,86 ^a	45,72±4,24 ^a	32,35±22,16 ^a	0,6549
VNMK/NMK	3,41±0,04 ^a	3,19±0,03 ^a	1,84±0,85 ^a	3,64±1,28 ^a	2,40±1,58 ^a	0,5743
TMK	1,92±0,03 ^d	2,09±0,05 ^c	2,05±0,00 ^c	2,58±0,05 ^b	2,81±0,04 ^a	0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 19: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim luteinom (c= 0,2 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času (ure)	SOL 0,2 (0)	SOL 0,2 (24)	SOL 0,2 (48)	SOL 0,2 (72)	SOL 0,2 (120)	<i>p</i> vrednost
Maščobna kislina						
C14:0	0,08±0,00	0,08±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C15:1, c-5	0,13±0,02 ^a	0,12±0,00 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,5296
C16:0	8,27±0,35 ^a	8,73±0,16 ^a	10,79±4,06 ^a	10,33±2,45 ^a	9,00±0,30 ^a	0,397
C16:1, c-9	0,28±0,02 ^b	0,21±0,03 ^c	0,30±0,02 ^b	0,38±0,02 ^a	0,42±0,00 ^a	0,0003
C18:0	4,65±0,25 ^a	4,92±0,09 ^a	6,01±2,33 ^a	11,54±11,54 ^a	5,08±0,42 ^a	0,3864
C18:1, t-9	0,81±0,06 ^c	0,95±0,02 ^d	1,04±0,01 ^c	1,12±0,01 ^b	1,21±0,01 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	35,74±4,28 ^a	35,69±5,45 ^a	38,13±0,48 ^a	38,14±3,71 ^a	37,84±2,93 ^a	0,772
C18:2, t-9, t-12	0,57±0,08 ^{ab}	0,53±0,13 ^b	0,62±0,02 ^{ab}	0,63±0,04 ^{ab}	0,75±0,01 ^a	0,1418
C18:2, c-9, t-12	0,31±0,01 ^a	0,27±0,05 ^a	0,38±0,12 ^a	0,33±0,01 ^a	0,37±0,01 ^a	0,2043
C18:2, t-9, c-12	0,26±0,01 ^a	0,23±0,05 ^a	0,33±0,10 ^a	0,29±0,01 ^a	0,32±0,01 ^a	0,1369
C18:2, c-9, c-12	47,40±2,52 ^{ab}	46,98±0,73 ^a	41,95±5,85 ^a	42,87±5,21 ^b	45,01±2,47 ^{ab}	0,2412
C20:0	0,31±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,84±0,05 ^a	0,92±0,05 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,1369
C24:0	0,35±0,02 ^a	0,37±0,01 ^a	0,45±0,17 ^a	0,37±0,02 ^a	0,00±0,00	0,5213
NMK	14,00±0,32 ^a	14,66±0,57 ^a	17,25±6,57 ^a	16,24±3,78 ^a	14,08±0,71 ^a	0,41
EnNMK	36,96±5,40 ^a	36,97±6,38 ^a	39,47±2,27 ^a	39,64±4,20 ^a	39,47±1,71 ^a	0,6482
VNMK	48,54±2,24 ^{ab}	48,01±0,52 ^{ab}	43,07±5,71 ^a	44,12±8,93 ^b	46,10±2,39 ^{ab}	0,2444
N6	48,54±2,24 ^{ab}	48,01±0,52 ^{ab}	43,07±5,71 ^a	44,12±8,93 ^b	46,10±2,39 ^{ab}	0,2444
VNMK/NMK	3,46±0,20 ^a	3,28±0,10 ^a	3,29±0,29 ^a	2,72±1,91 ^a	3,32±0,33 ^a	0,4055
TMK	1,95±0,50 ^c	1,98±0,02 ^c	2,37±0,08 ^b	2,37±0,15 ^b	2,65±0,05 ^a	0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 20: Maščobnokislinska sestava (g/100g MK) sončničnega olja z dodanim luteinom (c= 0,5 g/l) v odvisnosti od časa toplotne obdelave

Vzorec ob času (ure) Maščobna kislina	SOL 0,5 (0)	SOL 0,5 (24)	SOL 0,5 (48)	SOL 0,5 (120)	p vrednost
C14:0	0,08±0,00	0,08±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C15:1, c-5	0,10±0,03 ^a	0,12±0,02 ^a	0,13±0,0 ^a	0,00±0,00	0,6229
C16:0	8,34±,18 ^b	8,36±0,28 ^b	8,18±0,24 ^b	10,63±2,17 ^a	0,0363
C16:1, c-9	0,24±0,11 ^a	0,29±0,07 ^a	0,34±0,09 ^a	0,00±0,00	0,337
C18:0	4,72±0,08 ^b	4,73±0,15 ^b	4,58±0,16 ^b	5,82±1,18 ^a	0,0597
C18:1, t-9	0,73±0,03 ^d	0,88±0,01 ^c	0,96±0,01 ^b	1,11±0,03 ^a	<0,0001
C18:1, c-9	35,69±1,32 ^a	36,00±3,52 ^{ab}	35,85±3,02 ^a	32,54±6,50 ^b	0,083
C18:2, t-9, t-12	0,63±0,03 ^a	0,51±0,03 ^b	0,65±0,04 ^a	0,54±0,07 ^b	0,0052
C18:2, c-9, t-12	0,30±0,02 ^a	0,27±0,01 ^a	0,32±0,01 ^a	0,33±0,07 ^a	0,23
C18:2, t-9, c-12	0,25±0,02 ^{ab}	0,22±0,02 ^b	0,27±0,01 ^{ab}	0,28±0,06 ^a	0,157
C18:2, c-9, c-12	47,35±1,00 ^a	47,30±4,35 ^a	48,38±2,04 ^a	47,36±6,49 ^a	0,6867
C20:0	0,33±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,89±0,04 ^a	0,88±0,04 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,6653
C24:0	0,35±0,01 ^b	0,36±0,01 ^b	0,34±0,01 ^b	0,39±0,00 ^a	0,0027
NMK	13,96±0,51 ^{ab}	14,35±0,45 ^{ab}	13,10±0,41 ^b	16,64±3,21 ^a	0,0719
EnNMK	36,28±1,70 ^a	37,29±3,92 ^a	37,28±3,28 ^a	33,65±13,52 ^b	0,0261
VNMK	48,53±0,98 ^a	48,30±4,30 ^a	49,61±2,02 ^a	49,01±6,34 ^a	0,6804
N6	48,53±0,98 ^a	48,30±4,30 ^a	49,61±2,02 ^a	49,01±6,34 ^a	0,6804
VNMK/NMK	3,47±0,12 ^{ab}	3,35±0,40 ^a	3,78±0,26 ^a	2,95±0,30 ^b	0,0103
TMK	1,91±0,16 ^b	1,88±0,10 ^b	2,20±0,03 ^a	2,26±0,07 ^a	0,0397

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

Preglednica 21: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 0 ur

Vzorec ob času 0h Maščobna kislina	SO	SOK	SOR 2	SOR 4	SOR 10	SOL 0,1	SOL 0,2	SOL 0,5	<i>p</i> vrednost
C14:0	0,09±0,00 ^a	0,09±0,01 ^a	0,08±0,00 ^a	0,08±0,01 ^a	0,09±0,00 ^a	0,08±0,00 ^a	0,08±0,00 ^a	0,08±0,00 ^a	0,5045
C15:1, c-5	0,09±0,00 ^a	0,10±0,01 ^a	0,10±0,03 ^a	0,12±0,0 ^a	0,09±0,00 ^a	0,11±0,03 ^a	0,13±0,02 ^a	0,10±0,03 ^a	0,6333
C16:0	9,24±0,50 ^a	9,12±0,45 ^a	8,70±0,20 ^{abc}	8,54±0,18 ^{abc}	8,83±0,86 ^{abc}	8,43±0,19 ^{bc}	8,27±0,35 ^c	8,34±,18 ^c	0,0527
C16:1, c-9	0,16±0,04 ^b	0,22±0,04 ^{ab}	0,22±0,09 ^{ab}	0,17±0,05 ^{ab}	0,16±0,05 ^b	0,26±0,06 ^{ab}	0,28±0,02 ^a	0,24±0,11 ^{ab}	0,1423
C18:0	5,20±0,32 ^a	5,20±0,23 ^a	4,94±0,23 ^{ab}	4,83±0,10 ^{ab}	4,94±0,49 ^{ab}	4,69±0,10 ^b	4,65±0,25 ^b	4,72±0,08 ^{ab}	0,0564
C18:1, t-9	0,80±0,03 ^{ab}	0,84±0,03 ^b	0,78±0,02 ^{bc}	0,76±0,04 ^{bc}	0,77±0,03 ^{bc}	0,84±0,03 ^a	0,81±0,06 ^{ab}	0,73±0,03 ^c	0,0006
C18:1, c-9	36,57±2,00 ^b	36,79±2,36 ^a	35,52±4,57 ^a	36,06±0,75 ^a	35,94±2,82 ^a	36,42±1,96 ^a	35,74±4,28 ^a	35,69±1,32 ^a	0,0053
C18:2, t-9, t-12	0,53±0,07 ^a	0,57±0,04 ^a	0,53±0,10 ^a	0,53±0,06 ^a	0,52±0,02 ^a	0,57±0,05 ^a	0,57±0,08 ^a	0,63±0,03 ^a	0,3115
C18:2, c-9, t-12	0,26±0,05 ^{abc}	0,22±0,06 ^c	0,25±0,01 ^{abc}	0,27±0,02 ^{abc}	0,24±0,02 ^{bc}	0,28±0,01 ^{abc}	0,31±0,01 ^a	0,30±0,02 ^{ab}	0,0384
C18:2, t-9, c-12	0,21±0,04 ^c	0,21±0,02 ^{bc}	0,21±0,01 ^c	0,22±0,02 ^{bc}	0,20±0,01 ^c	0,23±0,01 ^{abc}	0,26±0,01 ^a	0,25±0,02 ^{ab}	0,0075
C18:2, c-9, c-12	45,33±3,16 ^a	45,31±3,74 ^b	46,96±2,75 ^b	46,91±1,32 ^{ab}	46,97±4,83 ^{ab}	46,94±1,10 ^{ab}	47,40±2,52 ^{ab}	47,35±1,00 ^b	0,2212
C20:0	0,31±0,00	0,00±0,00	0,33±0,00	0,31±0,0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,31±0,00	0,33±0,00	/
C22:0	0,82±0,00 ^a	0,94±0,09 ^a	0,87±0,06 ^a	0,84±0,04 ^a	0,89±0,13 ^a	0,81±0,10 ^a	0,84±0,05 ^a	0,89±0,04 ^a	0,6492
C24:0	0,39±0,03 ^a	0,39±0,02 ^a	0,37±0,02 ^{ab}	0,36±0,01 ^{ab}	0,36±0,04 ^{ab}	0,34±0,01 ^b	0,35±0,02 ^b	0,35±0,01 ^{ab}	0,0597
NMK	15,17±0,58 ^{ab}	15,69±0,77 ^a	15,05±0,35 ^{ab}	14,72±0,30 ^{ab}	15,05±1,55 ^{ab}	14,08±0,25 ^b	14,00±0,32 ^b	13,96±0,51 ^b	0,0299
EnNMK	37,69±2,23 ^a	37,95±3,59 ^a	36,62±1,20 ^a	37,11±18,82 ^a	36,96±18,66 ^a	37,63±1,26 ^a	36,96±5,40 ^a	36,28±1,70 ^a	0,6476
VNMK	46,33±3,17 ^a	46,47±3,66 ^b	47,95±2,61 ^b	47,93±1,24 ^{ab}	47,93±4,85 ^{ab}	48,02±1,03 ^{ab}	48,54±2,24 ^{ab}	48,53±0,98 ^b	0,2209
N6	46,33±3,17 ^a	46,47±3,66 ^b	47,95±2,61 ^b	47,93±1,24 ^{ab}	47,93±4,85 ^{ab}	48,02±1,03 ^{ab}	48,54±2,24 ^{ab}	48,53±0,98 ^b	0,2209
VNMK/NMK	3,05±0,30 ^a	2,96±0,28 ^a	3,11±0,23 ^a	3,26±0,12 ^a	3,18±0,65 ^a	3,41±0,04 ^a	3,46±0,20 ^a	3,47 ±0,12 ^a	0,3969
TMK	1,80±0,01 ^d	1,84±0,01 ^c	1,77±0,09 ^c	1,78±0,06 ^c	1,73±0,07 ^b	1,92±0,03 ^f	1,95±0,50 ^g	1,91±0,16 ^h	0,0001

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom.

Preglednica 22: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 24 ur

Vzorec ob času 24h Maščobna kislina	SO	SOK	SOR 2	SOR 4	SOR 10	SOL 0,1	SOL 0,2	SOL 0,5	<i>p</i> vrednost
C14:0	0,08±0,01 ^a	0,08±0,01 ^a	0,09±0,00 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,08±0,00 ^a	0,08±0,00 ^a	0,9357
C15:1, c-5	0,12±0,03 ^a	0,09±0,02 ^a	0,10±0,01 ^a	0,13±0,0 ^a	0,15±0,06 ^a	0,15±0,00 ^a	0,12±0,00 ^a	0,12±0,02 ^a	0,5794
C16:0	8,58±0,12 ^{ab}	8,67±0,07 ^{ab}	9,01±0,28 ^a	8,84±0,68 ^{ab}	8,75±0,20 ^{ab}	8,53±0,17 ^{ab}	8,73±0,16 ^{ab}	8,36±0,28 ^b	0,2943
C16:1, c-9	0,29±0,07 ^a	0,22±0,08 ^a	0,21±0,05 ^a	0,23±0,10 ^a	0,35±0,2 ^a	0,29±0,08 ^a	0,21±0,03 ^a	0,29±0,07 ^a	0,5761
C18:0	4,80±0,04 ^a	4,91±0,06 ^a	5,06±0,20 ^a	4,91±0,38 ^a	4,88±0,12 ^a	4,90±0,09 ^a	4,92±0,09 ^a	4,73±0,15 ^a	0,4811
C18:1, t-9	0,93±0,02 ^{cd}	1,17±0,02 ^a	0,94±0,02 ^{bc}	0,91±0,01 ^{de}	0,92±0,01 ^{cd}	0,96±0,01 ^b	0,95±0,02 ^b	0,88±0,01 ^e	<0,0001
C18:1, c-9	38,56±2,74 ^a	36,10±5,49 ^a	35,22±0,74 ^a	36,86±3,08 ^a	36,52±2,61 ^a	36,98±1,10 ^a	35,69±5,45 ^a	36,00±3,52 ^a	0,6772
C18:2, t-9, t-12	0,60±0,07 ^a	0,55±0,11 ^a	0,53±0,01 ^a	0,58±0,04 ^a	0,57±0,06 ^a	0,58±0,02 ^a	0,53±0,13 ^a	0,51±0,03 ^a	0,7289
C18:2, c-9, t-12	0,31±0,01 ^a	0,29±0,04 ^a	0,27±0,01 ^a	0,31±0,02 ^a	0,28±0,01 ^a	0,30±0,00 ^a	0,27±0,05 ^a	0,27±0,01 ^a	0,3423
C18:2, t-9, c-12	0,26±0,01 ^a	0,24±0,04 ^a	0,23±0,01 ^a	0,26±0,02 ^a	0,24±0,01 ^a	0,25±0,00 ^a	0,23±0,05 ^a	0,22±0,02 ^a	0,3284
C18:2, c-9, c-12	44,22±1,43 ^a	46,11±2,22 ^a	47,03±1,02 ^a	45,15±3,40 ^a	46,13±1,57 ^a	45,84±1,21 ^a	46,98±0,73 ^a	47,30±4,35 ^a	0,5722
C20:0	0,00±0,00	0,32±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,90±0,01 ^{ab}	0,89±0,02 ^{ab}	0,93±0,02 ^a	0,82±0,00 ^b	0,85±0,09 ^a	0,85±0,05 ^{ab}	0,92±0,05 ^a	0,88±0,04 ^{ab}	0,2886
C24:0	0,35±0,01 ^a	0,36±0,00 ^a	0,38±0,02 ^a	0,36±0,02 ^a	0,36±0,01 ^a	0,37±0,01 ^a	0,37±0,01 ^a	0,36±0,01 ^a	0,4291
NMK	14,46±0,40 ^a	15,01±0,07 ^a	15,09±0,87 ^a	14,38±1,28 ^a	14,42±0,56 ^a	14,64±0,12 ^a	14,66±0,57 ^a	14,35±0,45 ^a	0,7529
EnNMK	39,90±1,15 ^a	37,75±6,74 ^a	36,47±0,24 ^a	38,13±2,54 ^a	37,94±4,10 ^a	38,38±0,92 ^a	36,97±6,38 ^a	37,29±3,92 ^a	0,764
VNMK	45,21±1,35 ^a	47,19±2,04 ^a	48,06±1,00 ^a	46,31±3,40 ^a	47,22±1,52 ^a	46,70±0,81 ^a	48,01±0,52 ^a	48,30±4,30 ^a	0,5456
N6	45,21±1,35 ^a	47,19±2,04 ^a	48,06±1,00 ^a	46,31±3,40 ^a	47,22±1,52 ^a	46,70±0,81 ^a	48,01±0,52 ^a	48,30±4,30 ^a	0,5456
VNMK/NMK	3,12±0,11 ^a	3,14±0,12 ^a	3,18±0,24 ^a	3,25±0,51 ^a	3,27±0,15 ^a	3,19±0,03 ^a	3,28±0,10 ^a	3,35±0,40 ^a	0,6404
TMK	2,10±0,05 ^d	2,25±0,15 ^e	1,97±0,05 ^a	2,06±0,06 ^c	2,01±0,02 ^b	2,09±0,05 ^d	1,98±0,02 ^a	1,88±0,10 ^a	0,0004

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom.

Preglednica 23: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 48 ur

Vzorec ob času 48h Maščobna kislina	SO	SOK	SOR 2	SOR 4	SOR 10	SOL 0,1	SOL 0,2	SOL 0,5	<i>p</i> vrednost
C14:0	0,00±0,00	0,09±0,00	0,00±0,00	0,09±0,0	0,00±0,00	0,08±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C15:1, c-5	0,12±0,00 ^b	0,10±0,00 ^b	0,12±0,00 ^b	0,12±0,01 ^b	0,18±0,00 ^a	0,12±0,00 ^b	0,00±0,00	0,13±0,00 ^b	0,0435
C16:0	8,71±0,17 ^a	9,03±0,32 ^a	9,29±0,37 ^a	9,41±0,40 ^a	9,41±0,04 ^a	9,94±0,89 ^a	10,79±4,06 ^a	8,18±0,24 ^a	0,3837
C16:1, c-9	0,23±0,04 ^{ab}	0,21±0,08 ^b	0,26±0,10 ^{ab}	0,30±0,08 ^{ab}	0,38±0,08 ^a	0,24±0,00 ^{ab}	0,30±0,02 ^{ab}	0,34±0,09 ^{ab}	0,1859
C18:0	4,87±0,08 ^a	5,01±0,15 ^a	5,46±0,76 ^a	5,25±0,26 ^a	5,10±0,80 ^a	5,48±0,19 ^a	6,01±2,33 ^a	4,58±0,16 ^a	0,3913
C18:1, t-9	1,13±0,03 ^b	1,38±0,03 ^a	1,12±0,05 ^b	1,03±0,02 ^{cd}	0,99±0,01 ^{de}	1,11±0,01 ^b	1,04±0,01 ^c	0,96±0,01 ^e	<0,0001
C18:1, c-9	35,78±4,23 ^{ab}	32,24±7,33 ^{ab}	38,71±4,67 ^a	37,71±2,22 ^{ab}	39,32±1,66 ^a	35,46±0,56 ^b	38,13±0,48 ^{ab}	35,85±3,02 ^{ab}	0,1733
C18:2, t-9, t-12	0,56±0,10 ^{ab}	0,48±0,16 ^{ab}	0,57±0,06 ^{ab}	0,58±0,05 ^{ab}	0,64±0,03 ^a	0,46±0,12 ^b	0,62±0,02 ^{ab}	0,65±0,04 ^a	0,1715
C18:2, c-9, t-12	0,30±0,03 ^{ab}	0,27±0,07 ^b	0,31±0,01 ^{ab}	0,32±0,02 ^{ab}	0,32±0,01 ^{ab}	0,26±0,07 ^b	0,38±0,12 ^a	0,32±0,01 ^{ab}	0,2695
C18:2, t-9, c-12	0,25±0,03 ^{ab}	0,26±0,04 ^{ab}	0,27±0,01 ^{ab}	0,27±0,02 ^{ab}	0,28±0,01 ^{ab}	0,22±0,07 ^b	0,33±0,10 ^a	0,27±0,01 ^{ab}	0,3352
C18:2, c-9, c-12	46,77±0,81 ^{ab}	49,27±1,52 ^{ab}	42,49±3,77 ^{ab}	43,56±0,65 ^{ab}	42,47±1,99 ^b	45,35±1,67 ^{ab}	41,95±5,85 ^a	48,38±2,04 ^a	0,1617
C20:0	0,00±0,00	0,33±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,91±0,00 ^a	0,96±0,04 ^a	0,96±0,0 ^a	0,97±0,07 ^a	0,00±0,00	0,89±0,00 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,7944
C24:0	0,37±0,01 ^a	0,37±0,01 ^a	0,44±0,14 ^a	0,39±0,02 ^a	0,36±0,02 ^a	0,36±0,02 ^a	0,45±0,17 ^a	0,34±0,01 ^a	0,5627
NMK	14,17±0,70 ^a	15,00±1,14 ^a	15,42±1,21 ^a	15,81±0,89 ^a	14,87±0,63 ^a	16,75±1,57 ^a	17,25±6,57 ^a	13,10±0,41 ^a	0,394
EnNMK	37,26±4,90 ^a	33,93±1,95 ^a	40,21±2,42 ^a	39,16±3,28 ^a	40,87±0,96 ^a	36,93±0,37 ^a	39,47±2,27 ^a	37,28±3,28 ^a	0,4715
VNMK	47,92±0,70 ^{ab}	50,22±1,26 ^{ab}	43,62±3,71 ^{ab}	44,73±0,62 ^{ab}	43,35±2,70 ^b	30,79±8,86 ^b	43,07±5,71 ^a	49,61±2,02 ^{ab}	0,2405
N6	47,92±0,70 ^{ab}	50,22±1,26 ^{ab}	43,62±3,71 ^{ab}	44,73±0,62 ^{ab}	43,35±2,70 ^b	30,79±8,86 ^b	43,07±5,71 ^a	49,61±2,02 ^{ab}	0,2405
VNMK/NMK	3,38±0,13 ^{ab}	3,34±0,21 ^{ab}	2,83±0,42 ^{ab}	2,83±0,15 ^{ab}	2,94±1,88 ^b	1,84±0,85 ^b	3,29±0,29 ^{ab}	3,78±0,26 ^a	0,2521
TMK	2,24±0,01 ^c	2,39±0,04 ^d	2,26±0,06 ^c	2,20±0,02 ^b	2,23±0,07 ^b	2,05±0,00 ^a	2,37±0,08 ^d	2,20±0,03 ^b	0,0005

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom.

Preglednica 24: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 72 ur

Vzorec ob času 72h Maščobna kislina	SO	SOK	SOR 2	SOR 4	SOR 10	SOL 0,1	SOL 0,2	<i>p</i> vrednost
C14:0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,10±0,00	0,00±0,00	/
C15:1, c-5	0,12±0,00 ^{bc}	0,18±0,00 ^a	0,14±0,01 ^{abc}	0,16±0,02 ^{ab}	0,13±0,01 ^{abc}	0,09±0,00 ^c	0,00±0,00	0,0822
C16:0	8,55±0,32 ^a	8,94±0,19 ^a	8,71±0,18 ^a	9,31±1,08 ^a	8,71±0,03 ^a	8,28±1,45 ^a	10,33±2,45 ^a	0,4414
C16:1, c-9	0,26±0,08 ^a	0,33±0,19 ^a	0,32±0,09 ^a	0,40±0,14 ^a	0,41±0,06 ^a	0,30±0,10 ^a	0,38±0,02 ^a	0,6384
C18:0	4,82±0,12 ^a	4,96±0,03 ^a	4,86±0,09 ^a	5,16±0,56 ^a	4,83±0,01 ^a	4,61±0,85 ^a	5,54±0,54 ^a	0,4182
C18:1, t-9	1,32±0,04 ^b	1,64±0,04 ^a	1,25±0,03 ^c	1,18±0,01 ^d	1,07±0,02 ^e	1,26±0,03 ^c	1,12±0,01 ^e	<0,0001
C18:1, c-9	36,37±1,70 ^a	34,94±3,14 ^a	38,10±0,92 ^a	39,04±4,38 ^a	38,79±1,16 ^a	38,33±2,77 ^a	38,14±3,71 ^a	0,5909
C18:2, t-9, t-12	0,57±0,05 ^a	0,62±0,11 ^a	0,66±0,01 ^a	0,67±0,05 ^a	0,68±0,07 ^a	0,69±0,06 ^a	0,63±0,04 ^a	0,2461
C18:2, c-9, t-12	0,30±0,02 ^a	0,32±0,01 ^a	0,33±0,01 ^a	0,31±0,04 ^a	0,33±0,01 ^a	0,33±0,05 ^a	0,33±0,01 ^a	0,6362
C18:2, t-9, c-12	0,25±0,02 ^b	0,28±0,01 ^{ab}	0,29±0,00 ^a	0,27±0,03 ^{ab}	0,28±0,01 ^{ab}	0,30±0,02 ^a	0,29±0,01 ^{ab}	0,0867
C18:2, c-9, c-12	46,19±0,43 ^a	46,29±0,98 ^a	44,50±0,53 ^a	42,16±5,32 ^a	43,66±0,14 ^a	44,40±4,17 ^a	42,87±5,21 ^a	0,4473
C20:0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,89±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,97±0,00	0,84±0,00	0,94±0,00	0,00±0,00	/
C24:0	0,36±0,00 ^a	0,37±0,0 ^a	0,36±0,01 ^a	0,39±0,04 ^a	0,36±0,00 ^a	0,37±0,01 ^a	0,37±0,02 ^a	0,6165
NMK	14,03±0,60 ^a	14,28±0,23 ^a	13,93±0,26 ^a	15,18±1,56 ^a	14,19±0,48 ^a	13,44±2,67 ^a	16,24±3,78 ^a	0,445
EnNMK	38,07±0,77 ^a	37,09±0,63 ^a	39,81±0,37 ^a	40,78±3,87 ^a	40,40±1,59 ^a	39,98±1,83 ^a	39,64±4,20 ^a	0,5295
VNMK	47,30±0,48 ^a	47,51±0,87 ^a	45,79±0,54 ^a	43,45±5,34 ^a	44,95±0,15 ^a	45,72±4,24 ^a	44,12±8,93 ^a	0,4466
N6	47,30±0,48 ^a	47,51±0,87 ^a	45,79±0,54 ^a	43,45±5,34 ^a	44,95±0,15 ^a	45,72±4,24 ^a	44,12±8,93 ^a	0,4466
VNMK/NMK	3,37±0,17 ^a	3,19±0,03 ^a	3,28±0,10 ^a	2,86±0,62 ^a	3,17±0,11 ^a	3,64±1,28 ^a	2,72±0,91 ^a	0,609
TMK	2,44±0,09 ^b	2,86±0,05 ^d	2,53±0,04 ^c	2,43±0,09 ^b	2,36±0,08 ^a	2,58±0,05 ^c	2,37±0,15 ^a	0,0002

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom.

Preglednica 25: Maščobnokislinska sestava vseh vzorcev sončničnega olja (g/100 g MK) ob času 120 ur

Vzorec ob času 120h Maščobna kislina	SO	SOK	SOR 2	SOR 4	SOR 10	SOL 0,1	SOL 0,2	SOL 0,5	<i>p</i> vrednost
C14:0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C15:1, c-5	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,12±0,0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C16:0	7,41±4,23 ^a	9,48±0,21 ^a	8,92±1,44 ^a	11,38±3,55 ^a	9,45±0,32 ^a	10,92±3,53 ^a	9,00±0,30 ^a	10,63±2,17 ^a	0,4438
C16:1, c-9	0,30±0,00 ^{ab}	0,32±0,0 ^{ab}	0,08±0,12 ^b	0,29±0,14 ^{ab}	0,36±0,05 ^a	0,39±0,06 ^a	0,42±0,0 ^a	0,00±0,00	0,1052
C18:0	5,50±0,39 ^a	5,17±0,09 ^a	4,84±0,77 ^a	6,24±1,95 ^a	5,20±0,18 ^a	6,01±1,94 ^a	5,08±0,42 ^a	5,82±1,18 ^a	0,6515
C18:1, t-9	1,60±0,07 ^b	1,82±0,03 ^a	1,48±0,02 ^c	1,37±0,08 ^d	1,25±0,01 ^e	1,34±0,03 ^d	1,21±0,01 ^f	1,11±0,03 ^g	<0,0001
C18:1, c-9	37,71±3,89 ^a	34,41±3,26 ^{ab}	35,86±3,19 ^{ab}	30,26±7,68 ^b	37,11±2,50 ^a	37,09±0,10 ^{ab}	37,84±2,93 ^a	32,54±6,50 ^b	0,0121
C18:2, t-9, t-12	0,59±0,04 ^{abc}	0,55±0,07 ^{bc}	0,49±0,07 ^c	0,56±0,24 ^{abc}	0,73±0,02 ^{abc}	0,81±0,25 ^a	0,75±0,01 ^{ab}	0,54±0,07 ^{bc}	0,0572
C18:2, c-9, t-12	0,32±0,01 ^a	0,33±0,02 ^a	0,30±0,02 ^a	0,36±0,13 ^a	0,35±0,01 ^a	0,35±0,02 ^a	0,37±0,01 ^a	0,33±0,07 ^a	0,8092
C18:2, t-9, c-12	0,28±0,02 ^a	0,29±0,02 ^a	0,26±0,02 ^a	0,31±0,12 ^a	0,31±0,01 ^a	0,31±0,02 ^a	0,32±0,01 ^a	0,28±0,06 ^a	0,7165
C18:2, c-9, c-12	45,89±1,75 ^a	46,29±0,65 ^a	46,69±2,33 ^a	47,43±1,44 ^a	44,66±2,33 ^a	42,25±1,68 ^a	45,01±2,47 ^a	47,36±6,49 ^a	0,6244
C20:0	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	/
C22:0	0,00±0,00	0,96±0,00 ^a	0,96±0,00 ^a	1,21±0,42 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,8209
C24:0	0,40±0,0 ^a	0,38±0,00 ^a	0,35±0,06 ^a	0,47±0,15 ^a	0,39±0,01 ^a	0,53±0,22 ^a	0,00±0,00	0,39±0,00 ^a	0,4363
NMK	13,01±3,98 ^a	15,28±0,64 ^a	14,44±2,61 ^a	19,01±6,16 ^a	15,05±0,50 ^a	17,19±5,76 ^a	14,08±0,71 ^a	16,64±3,21 ^a	0,399
EnNMK	39,61±3,25 ^a	36,55±0,76 ^{ab}	37,42±6,13 ^{ab}	32,04±8,56 ^{ab}	38,16±2,67 ^a	38,82±1,93 ^{ab}	39,47±1,71 ^{ab}	33,65±13,52 ^b	0,1344
VNMK	47,09±1,79 ^a	47,46±0,62 ^a	47,74±2,32 ^a	48,66±10,55 ^a	47,06±2,33 ^a	32,35±12,16 ^a	46,10±2,39 ^a	49,01±6,34 ^a	0,5695
N6	47,09±1,79 ^a	47,46±0,62 ^a	47,74±2,32 ^a	48,66±10,55 ^a	47,06±2,33 ^a	32,35±12,16 ^a	46,10±2,39 ^a	49,01±6,34 ^a	0,5695
VNMK/NMK	3,62±1,80 ^a	3,11±0,51 ^a	3,31±0,82 ^a	2,56±1,38 ^a	3,13±0,25 ^a	2,40±1,58 ^a	3,32±0,33 ^a	2,95±0,30 ^a	0,4032
TMK	2,79±0,02 ^d	2,99±0,05 ^e	2,53±0,10 ^b	2,60±0,06 ^c	2,64±0,16 ^c	2,81±0,04 ^d	2,65±0,05 ^c	2,26±0,07 ^a	0,0061

$p \leq 0,001$ statistično zelo visoko značilen vpliv; $p \leq 0,01$ statistično visoko značilen vpliv; $p \leq 0,05$ statistično značilen vpliv; $p > 0,05$ statistično neznačilen vpliv; skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom.

V preglednici 26 so zbrane povprečne vsebnosti *trans* izomere oleinske kisline, C18:1, t-9, glede na čas toplotne obdelave olja. Iz tabele je jasno razviden vpliv dodatka obeh antioksidantov ne glede na koncentracijo.

Preglednica 27 prav tako podaja povprečne vsebnosti *trans* izomere oleinske kisline, C18:1, t-9, ne glede na vrsto in koncentracijo antioksidanta. Iz tabele je razvidno, da vsebnost te izomere narašča, a dosega bistveno nižje vrednosti v primerjavi s kontrolo.

Preglednica 26: Povprečne vsebnosti *trans* izomere oleinske kisline (C18:1, t-9) tekom toplotne obdelave sončničnega olja ne glede na koncentracijo antioksidanta

Vzorec (povprečne vrednosti) Čas (ure)	SO	SOK	SOR	SOL
0	0,80 ^{ab}	0,84 ^a	0,77 ^b	0,79 ^{ab}
24	0,93 ^b	1,17 ^a	0,92 ^b	0,93 ^b
48	1,13 ^b	1,38 ^a	1,05 ^c	1,04 ^c
72	1,32 ^b	1,64 ^a	1,17 ^c	1,09 ^c
120	1,60 ^b	1,82 ^a	1,37 ^c	1,16 ^d

Skupine z enako črko v indeksu se med seboj statistično značilno ne razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$), SO: kontrolni vzorec, SOK: vzorec olja s krompirjem, SOR: vzorec olja z dodanim ekstraktom rožmarina, SOL: vzorec olja z dodanim luteinom.

Preglednica 27: Vsebnosti *trans* izomere oleinske kisline (C18:1, t-9) tekom toplotne obdelave sončničnega olja ne glede na vrsto in koncentracijo antioksidanta

Čas (ure) Maščobna kislina	0	24	48	72	120
C18:1, t-9	0,78 ^e	0,93 ^d	1,05 ^c	1,13 ^b	1,27 ^a

Skupine z različno črko se med seboj statistično značilno razlikujejo (Duncanov test $\alpha = 0,05$).

5 RAZPRAVA

Cilj diplomske naloge je bil preučiti vpliv dodatka antioksidantov v olje z namenom preprečevanja nastanka *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo olja. Uporabili smo dva naravna antioksidanta, in sicer ekstrakt rožmarina ter lutein. Sintetični antioksidanti veljajo za učinkovitejše, toda trend današnje prehrane se bolj nagiba k uporabi dodatkov naravnega izvora.

Olje smo segrevali 120 ur, na vsakih 24 ur smo olje tudi vzorčili. Tako smo lahko dobili podatke o postopnem spreminjanju maščobnokislinske sestave olja in s tem posredno vpliv dodatka antioksidanta. Poleg maščobnokislinske sestave smo merili tudi vsebnost polarnih komponent ter spremljali nastajanje konjugiranih dienov ter trienov.

Vpliv dodatka antioksidantov so v preteklosti že preučevali Gamel s sodelavci (1999). S svojo raziskavo so potrdili pozitiven vpliv dodatka fenolnih ekstraktov in sintetičnih antioksidantov na nastajanje TMK tekom cvrenja. Tudi mi smo dokazali pozitiven vpliv dodatka naravnih antioksidantov.

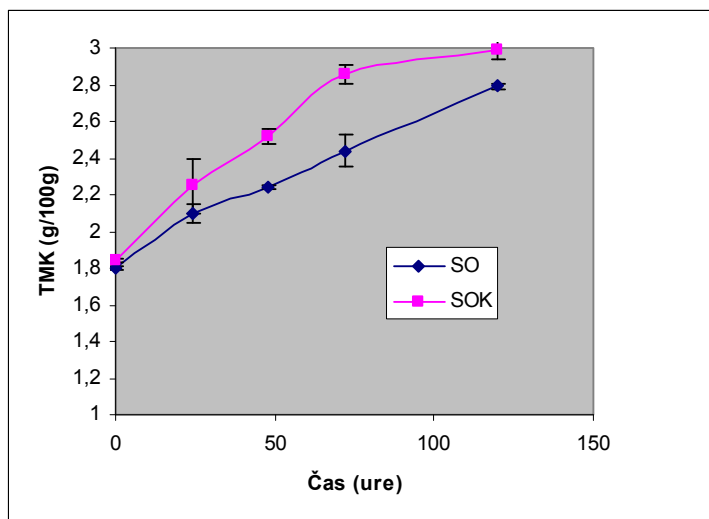
Ob času 0 h, na začetku toplotne obdelave (cvrenja), vsebuje sončnično olje (kontrolni vzorec) največ linolne kisline ($45,3 \pm 3,2$ g/100g MK) ter oleinske kisline ($36,6 \pm 2,0$ g/100g MK). Med nasičenimi prevladuje palmitinska kislina ($9,2 \pm 0,5$ g/100g MK).

Takšna sestava velja za vse vzorce ob času 0h, med vzorci ni večjih razlik. Med nenasičenimi maščobnimi kislinami smo poleg linolne kisline spremljali sestavo tudi še preostalih treh C18:2 izomer, in sicer C18:2, t-9, t-12, C18:2, t-9, c-12 ter C18:2, c-9, t-12. Te so vseskozi prisotne v nizkih koncentracijah.

Pri kontroli (sončnično olje) je tekom segrevanja statistično značilna sprememba v vsebnosti C18:1, t-9 maščobne kisline. Vsebnost te kisline naraste z začetne $0,80 \pm 0,03$ g/100g MK na $1,6 \pm 0,1$ g/100g MK ob koncu segrevanja, torej se vsebnost podvoji. Po pričakovanih nekoliko narasteta tudi vsebnosti C18:2, t-9, t-12 ter C18:2, t-9, c-12 maščobnih kislin. Pri kontrolnem vzorcu se tekom toplotne obdelave statistično značilno spremenita vsebnost večkrat nenasičenih maščobnih kislin (ta se zmanjša), naraste pa skupna vrednost *trans* maščobnih kislin.

Preglednica 14 navaja rezultate analize maščobnokislinske sestave olja, v katerem se je cvrl krompirček, ni pa bil dodan antioksidant (SOK). Začetna sestava vzorca je zelo podobna sestavi kontrolnega vzorca, čeprav se je v tem vzorcu že enkrat ocvrl krompir. Do večje razlike pride pri količini C18:1, t-9 maščobne kisline, ki tudi v tem vzorcu naraste (z $0,80 \pm 0,03$ g/100g MK na $1,80 \pm 0,03$ g/100g MK) ter doseže statistično značilne višje končne vrednosti v primerjavi s kontrolo. Prav tako se poveča vsebnost *trans* izomere linolne maščobne kisline C18:2, t-9, c-12, posledično ves čas tekom cvrenja narašča tudi skupna vrednost *trans* maščobnih kislin pri omenjenem vzorcu.

Vsebnosti TMK pri kontroli in kontroli s krompirjem naraščata linearno s časom toplotne obdelave, toda pri kontroli s krompirjem TMK naraščajo hitreje in dosežejo višje končne vrednosti.



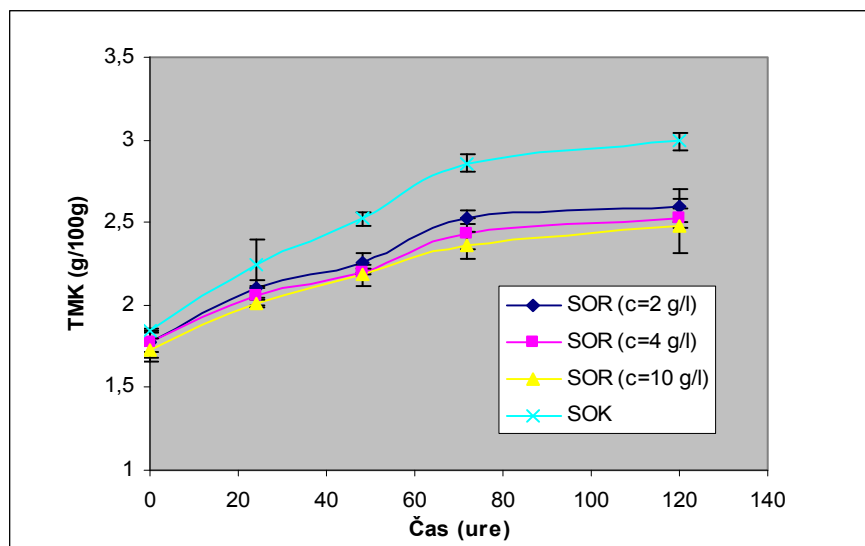
Slika 22: Vsebnost TMK (g/100g MK) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja; kontrola (◆), kontrola s krompirjem (■)

Trem vzorcem olja smo dodali ekstrakt rožmarina v različnih koncentracijah: 2 g/l, 4 g/l ter 10 g/l. Tudi te vzorce smo segrevali 120 h ter vsak dan v njih cvrli krompirček. Rezultati teh vzorcev so zbrani v preglednicah 14–16.

Pri vzorcu, kjer je dodana koncentracija ekstrakta rožmarina 2 g/l, se statistično značilne spremembe pojavijo pri *trans* maščobnih kislinah. C18:1, t-9 kislina se poveča z začetne vrednosti $0,78 \pm 0,02$ g/100g MK na $1,48 \pm 0,02$ g/100g MK. Povečanje z začetne na končno vrednost je manjše kot pri kontrolnemu vzorcu, kar lahko pripišemo vplivu prisotnosti antioksidantov, ki jih rožmarin vsebuje. Kot po pričakovanjih je končna vrednost C18:1, t-9 nižja v primerjavi s tistima, izmerjenima v kontrolnih vzorcih. Enak sklep velja tudi za preostale *trans* izomere C18 MK (Preglednica 15).

V vzorcu, ki je imel dodan rožmarin v koncentraciji 4 g/l (Preglednica 16), se vsebnost *trans* maščobnih kislin sicer povečuje tekom toplotne obdelave, toda zaradi dodane večje koncentracije antioksidanta, se vsebnosti C18:1, t-9 MK ob vsakem času toplotne obdelave nižje kot pri vzorcu z dodano nižjo koncentracijo antioksidanta. Rezultat ob času 0 h znaša $0,76 \pm 0,04$ g/100g MK, ob času 120 h pa $1,37 \pm 0,08$ g/100g MK. Kot smo pred poskusom pričakovali, se tekom 120 h trajajočega cvrenja zmanjšujejo skupne vrednosti večkrat nenasičenih maščobnih kislin ter povečujejo skupne vrednosti nasičenih maščobnih kislin, kar je razvidno tudi pri tem vzorcu.

Naslednjemu vzorcu je bila dodana najvišja koncentracija ekstrakta rožmarina, in sicer 10 g/l. Na začetku smo predpostavili, da bo nastanek *trans* maščobnih kislin funkcija koncentracije antioksidanta. To hipotezo lahko potrdimo. Namreč pri dodani najvišji koncentraciji antioksidanta pride tekom segrevanja olja do najmanjšega nastajanja *trans* maščobnih kislin. Na začetku vsebuje olje $0,77 \pm 0,03$ g/100g MK C18:1, t-9 maščobne kisline, po 120 urah cvrenja jo vsebuje le $1,25 \pm 0,03$ g/100g MK.



Slika 23: Vsebnost TMK (g/100g MK) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja z dodanim ekstraktom rožmarina v različnih koncentracijah

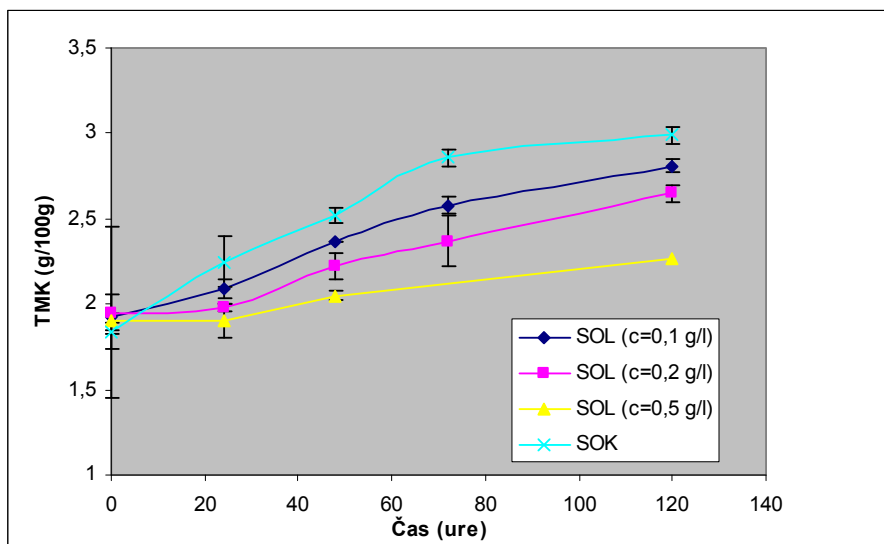
Trem vzorcem olja je bil dodan drugi naravni antioksidant, in sicer lutein. Prav tako smo uporabili tri različne koncentracije: 0,1 g/l, 0,2 g/l in 0,5 g/l. Pri najvišji koncentraciji je dodatek luteina povzročil tudi obarvanje olja.

Že pri dodani najnižji koncentraciji luteina, to je 0,1 g/kg, ta bistveno vpliva na nastanek *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo. Začetna količina C18:1, t-9 znaša $0,84 \pm 0,03$ g/100g MK (Preglednica 18), ob koncu toplotne obdelave znaša količina slednje maščobne kisline $1,34 \pm 0,03$ g/100g MK.

Vsebnost C18:2, c-9, c-12 maščobne kisline se tekom toplotne obdelave zmanjša (z 47 ± 1 na 42 ± 2 g/100g MK). Zmanjšanje koncentracije linolne kisline tekom toplotne obdelave olja so v raziskavi dokazali tudi Rossi s sod. (2009). V njihovi raziskavi so prav tako segrevali sončnično olje in v njem cvrli krompir, niso pa dodali antioksidantov.

Enako začetno, a še nižjo končno vrednost C18:1, t-9 maščobne kisline smo dobili pri analizi vzorca olja z dodano nekoliko višjo koncentracijo luteina, in sicer 0,2 g/l (Preglednica 19). Tu se vsebnosti statistično značilno razlikujejo med začetno in končno vrednostjo, hkrati pa so te vrednosti vseskozi nižje kot pri kontrolnih vzorcih.

Rezultati za vzorec olja z dodano najvišjo koncentracijo luteina kažejo na podoben trend kot smo ga opazili pri preostalih dveh koncentracijah in tudi pri uporabi ekstrakta rožmarina. Pri dodatku luteina v koncentraciji 0,5 g/l (Preglednica 20) pride do najmanjšega nastanka C18:1, t-9 MK (z začetne vrednosti $0,73 \pm 0,03$ g/100g MK naraste le na $1,11 \pm 0,03$ g/100g MK), najnižja pa je tudi skupna vrednost TMK.



Slika 24: Vsebnost TMK (g/100g MK) v odvisnosti od časa toplotne obdelave olja z dodanim luteinom v različnih koncentracijah

Že po času 24 h se pojavijo razlike v vsebnosti *trans* maščobnih kislin med vzorci. Največ C18:1, t-9 MK nastane pri kontroli s krompirjem, najmanj pa po pričakovanjih pri najvišjem dodatku luteina. Med različnimi dodatki rožmarina še ob času 24h ni bistvenih razlik. Ob času 48 h so že razvidne razlike tudi pri dodatku rožmarina kot posledica uporabe različnih koncentracij antioksidantov (Preglednica 23). Pri kontrolnem vzorcu in kontrolnem vzorcu s krompirjem vsebnosti TMK tekom cvrenja hitreje naraščajo, pri vzorcih z dodanim antioksidantom pa statistično značilno počasneje.

Pri dodatku antioksidantov so tekom cvrenja dokaj linearne razlike v uporabi različnih koncentracij antioksidanta. S tem lahko potrdimo našo predpostavljeno hipotezo, da je nastajanje TMK funkcija koncentracije antioksidanta. Pri uporabi najnižje koncentracije rožmarina, tj. 2 g/l, so končne vrednosti TMK najvišje (npr. ob času 120 h znaša vsebnost C18:1,t-9 $1,48 \pm 0,02$ g/100g MK). Pri uporabi višje koncentracije, tj. 4 g/l, so vrednosti nižje, ob času 120 h ta znaša $1,37 \pm 0,08$ g/100g MK. Ob dodatku najvišje koncentracije, tj. 10 g/l, je vsebnost C18:1, t-9 najnižja, in sicer $1,25 \pm 0,01$ g/100g MK.

Dodatek luteina prav tako povzroči statistično značilno upočasnjeno nastajanje TMK, koncentracije so tu celo nižje. Pri dodatku luteina v najnižji koncentraciji, tj. 0,1 g/l, nastane $1,34 \pm 0,03$ g/100g MK C18:1, t-9 maščobne kisline ob času 120 h. Pri višji koncentraciji luteina, tj. 0,2 g/l, nastane $1,21 \pm 0,01$ g/100g MK le-te maščobne kisline. Pri dodani najvišji koncentraciji luteina, tj. 0,5 g/l, nastane še manj *trans* izomere C18:1, in sicer $1,10 \pm 0,03$ g/100g MK.

Skratka, dodatek naravnih antioksidantov pozitivno vpliva na nastanek TMK, kar se ujema z rezultati, ki so jih dobili Gamel s sod. (1999) ter Filip, (2009).

Pri nobeni koncentraciji antioksidanta nismo dosegli prooksidativnega učinka, saj pri vsebnosti TMK v vzorcih z dodanim antioksidantom, ne presegajo vrednosti TMK pri kontroli.

Tekom toplotne obdelave se je rahlo povečevala vsebnost C18:1, c-9 (*cis* izomere) oleinske kisline (ter posledično tudi skupna vsebnost enkrat nenasičenih maščobnih kislin), na račun zmanjšanja vsebnosti linolne kisline. Najbolj je vidno povečanje te maščobne kisline pri kontroli. Podobne izsledke raziskav so dobili tudi Filip (2009) in Aro s sod., (1998).

Delež polarnih komponent smo določili s pomočjo merjenja dielektrične konstante. To metodo odlikujeta hitrost, ponovljivost in zanesljivost. Delež polarnih komponent se spreminja s časom toplotne obdelave, kar sta dokazala tudi Aladedunye in Przybylski (2009).

Kot lahko povzamemo iz Preglednic 7, 8 in 9 dodatek antioksidanta ni značilno vplival na končne deleže polarnih spojin. Pri vzorcu SO naraste delež polarnih komponent za 23 %, pri SOK za 28 %. Iz tega sledi, da dodatek živila povzroči povečano nastajanje polarnih komponent v olju. Večjih razlik v deležih polarnih komponent kot posledica uporabe različnih koncentracij antioksidantov nismo dokazali.

Pri najvišji dodani koncentraciji ekstrakta rožmarina se poveča delež polarnih spojin za 30 %, pri dodani najvišji koncentraciji luteina pa za 29 %. Pomembno pa je omeniti, da smo pri dodatku luteina izmerili tudi najvišje začetne deleže polarnih spojin (v primerjavi s kontrolo so bile višje za 3 %). Iz tega sklepamo, da že sam dodatek antioksidanta vsebuje nekaj polarnih spojin. V literaturi najdemo priporočila, da se olje, ki vsebuje 24 oz. 28 % polarnih komponent zavrže oz. zamenja. V našem primeru bi torej morali olje ne glede na dodatek antioksidanta zavreči po 72 urah.

V vseh primerih se polarne komponente linearno povečujejo s časom trajanja cvrenja, enak vpliv so pri cvrenju dokazali Sánchez-Gimeno in sod. v svoji raziskavi (2008).

Za določevanje konjugiranih dienov smo uporabili metodo merjenja absorbance na spektrofotometru. Rossi s sod. (2009) navajajo to metodo kot dober pokazatelj stopnje oksidacije olja. Rezultati so podani v Preglednicah 10 in 11. Razlike v specifičnem absorpcijskem koeficientu glede na čas trajanja toplotne obdelave in način tretiranja olja so se izkazale za statistično značilne. Lahko povzamemo, da dodatek antioksidanta učinkovito zavira nastajanje konjugiranih dienov ter trienov v primerjavi s kontrolo. Ta vpliv je sorazmeren s koncentracijo dodanega antioksidanta. Pri kontroli smo dobili vrednost specifičnega absorpcijskega koeficienta pri 232 nm $29,8 \pm 0,1$, pri vzorcu z največjim dodatkom rožmarina $28,1 \pm 0,1$ ter pri vzorcu z najvišjim dodatkom luteina $27,05 \pm 0,03$. Dodatek luteina ima že pri najnižji koncentraciji, tj. 0,1 g/l, večji vpliv na nastanek konjugiranih dienov v primerjavi z vzorcem olja, ki ima največji dodatek ekstrakta rožmarina.

5.1 SKLEPI

Trans maščobne kisline, ki v glavnem nastanejo pri hidrogenaciji rastlinskih olj znatno povečajo možnost pojava kardiovaskularnih bolezni (Aro s sod., 1998). Glavni vir *trans* maščobnih kislin v prehrani so tako margarine, maščobe za pekarstvo ter maščobe za cvrtje (Craig-Schmidt, 2006). Poleg hidrogenacije se vsebnost *trans* maščobnih kislin poveča tudi pri toplotni obdelavi hrane (Willett, 2006). Več študij dokazuje, da uživanje *trans* maščobnih kislin povečuje vsebnost holesterola in lipoproteinov z nizko gostoto. Uživanje *trans* maščobnih kislin spremeni razmerje med koristnim in škodljivim holesterolom v korist škodljivega holesterola. Po zaužitju hrane se *trans* maščobne kisline nalagajo v adipoznem tkivu; največji delež *trans* maščobnih kislin predstavlja *trans* oleinska kislina (C18:1). Negativen vpliv *trans* maščobnih kislin na pojav kardiovaskularnih bolezni je močnejši v primerjavi z vplivom nasičenih maščobnih kislin (Zambonin in sod., 2007).

Pred toplotno obdelavo vsebuje sončnično olje 9,2 % palmitinske kisline, 5,2 % stearinske kisline, 36,6 % oleinske kisline in 45,3 % linolne kisline, kar predstavlja podobne vrednosti, kot so jih dokazali tudi Filip in sod., (2011), Bansal in sod. (2009) in Sánchez-Gimeno s sod., (2008). Začetna vsebnost skupnih *trans* maščobnih kislin je bila v našem olju 1,8 %, kar je podobna vrednost, kot so jo dokazali tudi Bansal in sod., (2009).

Za cvrenje v fritezah se največ uporablja palmino, sončnično in nekatera druga olja, ki so lahko delno hidrogenirana zaradi boljše obstojnosti pred oksidativnimi procesi. Namen te raziskave je bil ugotoviti vpliv toplotne obdelave na spremembe maščobnokislinske sestave s poudarkom na spremembi vsebnosti *trans* maščobnih kislin.

V naši raziskavo se je vsebnost *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo povečevala; na začetku je bila vsebnost v kontrolnem vzorcu (olje brez dodatkov) 1,8 %, po 120 urah pa se je povečala na 2,8 % ($p < 0,001$). Ko se v olju cvrejo različna živila, prihaja do interakcij med oljem in živilom; v olju se raztapljajo sestavine iz živil, po drugi strani pa se olje vkomponira v živilo (Pedreschi in sod., 2008). Prisotnost vode in ostalih sestavin iz živil v olju dodatno poslabša parametre kakovosti olja med toplotno obdelavo. Tudi v našem primeru se je cvrenje krompirja v olju odrazilo v statistično značilni višji vsebnosti *trans* maščobnih kislin v primerjavi s toplotno obdelavo čistega živila.

Raziskava Gerčar in Šmidovnik (2002) je pokazala, da je stopnja izomerizacije maščobnih kislin med toplotno obdelavo odvisna od prisotnega kisika, saj je bila izomerizacija nižja, ko je potekala toplotna obdelava v odsotnosti kisika. V naši raziskavi je uporaba antioksidantov (lutein, ekstrakt rožmarina) zavirala tvorbo *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo. Oba antioksidanta delujeta kot lovilca prostega kisika in zavirata nastanek reaktivnih kisikovih radikalov. Lutein se je pokazal v primerjavi z ekstraktom rožmarina kot učinkovitejši, saj je bila vsebnost *trans* maščobnih kislin pri uporabi luteina statistično značilno nižja.

Vpliv različnih koncentracij obeh antioksidantov se je pokazal kot obratno sorazmeren z vsebnostjo *trans* maščobnih kislin; višja koncentracija uporabljenega antioksidanta je močnejše inhibirala nastanek *trans* maščobnih kislin.

Pri toplotni obdelavi olja se povečuje delež polarnih komponent, ki so pomemben pokazatelj kvalitete olja. Ko je dosežen delež polarnih komponent 25 %, je olje neuporabno za nadaljno uporabo. Mi bi ga morali zavreči po 72 urah ne glede na uporabljen antioksidant. V naši raziskavi je dodatek živila (krompir) pričakovano povečal delež polarnih komponent, ki se med toplotno obdelavo ne glede na uporabljen antioksidant linearno povečujejo.

Poleg deleža polarnih komponent, ki se jih lahko najhitreje izmeri, določanje posreduje pomemben podatek o toplotni obdelavi olja tudi določanje konjugiranih dienov in trienov. Substrat za nastanek konjugiranih dienov in trienov so večkrat nenasičene maščobne kisline, zato se njihova vsebnost hitreje povečuje v oljih, ki vsebujejo več večkrat nenasičenih kislin (Rossi s sod., 2009). Omenjene spojine se pri vsaki toplotni obdelavi olja povečajo, v naši raziskavi so se linearno povečevale. Največjo vsebnost smo določili v olju brez dodatkov antioksidantov ali živila, zanimivo, da je bila vsebnost konjugiranih dienov ter trienov značilno nižja v olju s krompirjem. Dodatek naravnih antioksidantov je deloval zaviralno na nastanek konjugiranih dienov in trienov, večja koncentracija dodanih antioksidantov je statistično značilno vplivala na zmanjšanje vsebnosti konjugiranih dienov ter trienov.

Antioksidanti se pri toplotni obdelavi olj uporabljajo predvsem z namenom preprečiti oksidacijo in posledično pojav žarkosti olj. V tej študiji so se antioksidanti pokazali učinkoviti ne le pri preprečevanju oksidacije, ampak tudi pri preprečevanju nastanka *trans* maščobnih kislin.

Iz diplomskega dela sledijo naslednji sklepi:

- dodatek ekstrakta rožmarina ali luteina bistveno ne vpliva na nastanek polarnih komponent,
- oba antioksidanta statistično značilno vplivata na nastanek konjugiranih dienov,
- vpliv na nastanek konjugiranih dienov ter trienov je funkcija koncentracije antioksidanta, pri večjem dodatku antioksidanta nastane manj konjugiranih dienov med toplotno obdelavo,
- nastanek konjugiranih dienov ter trienov bolje zavira lutein kot rožmarin,
- v največjem obsegu nastajajo konjugirani dieni in trieni na začetku segrevanja, že po 24 h toplotne obdelave pride do značilnih razlik v vsebnosti TMK zaradi dodatka antioksidanta pride do značilnih razlik v vsebnosti TMK zaradi dodatka,
- največ *trans* maščobnih kislin nastane pri obeh kontrolnih vzorcih, ves čas med cvrenjem njihova vsebnost narašča,
- ob koncu segrevanja je večja vsebnost TMK v kontrolnem vzorcu s krompirjem kot pri kontroli brez krompirja,

- vsebnosti TMK pri vzorcih z dodanim antioksidantom so nižje kot pri kontroli,
- nastanek TMK je funkcija koncentracije dodanega antioksidanta, pri večji koncentraciji antioksidanta nastane manj TMK,
- bolj učinkovit pri zaviranju nastajanja TMK je lutein (v primerjavi z rožmarinom)
- v poskusu nismo dosegli prooksidativnega učinka.

6 POVZETEK

Cvrenje pomeni toplotno obdelavo živil v vročem olju. Za posledico dobijo živila določene senzorične lastnosti, ki so ljudem všečne in nenadomestljive s kakšno drugo obliko toplotne obdelave. Seveda pa ima cvrenje tudi nekatere negativne lastnosti, mednje zagotovo spada nastanek *trans* maščobnih kislin pri povišani temperaturi. Te maščobne kisline imajo dokazan negativen učinek na zdravje. Zatorej postaja vedno bolj pomembno, kako preprečiti njihov nastanek tekom toplotne obdelave olja.

Namen diplomskega dela je bil preučiti vpliv dodatka dveh antioksidantov na nastanek *trans* maščobnih kislin med toplotno obdelavo olja. Uporabili smo naravna antioksidanta, in sicer ekstrakt rožmarina ter lutein, ki spada med karotenoide. Segrevali smo sončnično olje, saj se ta veliko uporablja v prehrabeni industriji. Oba antioksidanta smo dodali v različnih koncentracijah ter tako še zraven pridobili podatke o vplivu koncentracije antioksidanta na nastanek TMK. Sončnično olje smo segrevali 120 h in jemali vzorce vsakih 24 h ter jih zmrznili do nadaljevanja analiz. Vsakih 24 h smo v njem ocvrli krompir. V nadaljevanju smo izvedli metilacijo maščobnih kislin. Nato smo jih frakcionirali s srebrovimi ioni (Ag-ion SPE) z namenom ločbe *cis* in *trans* izomer, ki smo jih nato kvantitativno ločili na GC kromatografu. Poleg tega smo olju izmerili vsebnost polarnih spojin ter nastanek konjugiranih dienov ter trienov z merjenjem adsorbance.

Glede na tako pridobljene podatke, lahko potrdimo naše vnaprej predpostavljene hipoteze. Pri kontrolnima vzorcema, ki nista vsebovala antioksidanta, je vsebnost TMK tekom toplotne obdelave olja močno narasla. Še posebej pri kontrolnem vzorcu, v katerem se je zraven cvrlo še živilo – krompir.

Dodana antioksidanta sta pri vseh koncentracijah vplivala na nastanek TMK. Dodatek antioksidanta je pri vseh koncentracijah in ob vseh časih povzročil manjši nastanek *trans* izomer maščobnih kislin v primerjavi s kontrolnima vzorcema.

To zmanjšanje je bilo obratno sorazmerno s koncentracijo dodatka antioksidanta. Ta obratna sorazmernost je zelo izrazita pri uporabi obeh antioksidantov.

Vsekakor uporaba naravnih antioksidantov z namenom preprečevanja nastanka TMK veliko obeta. Potrebno pa bo najti ravno pravšnjo količino dodatka antioksidanta. Rožmarin lahko namreč pri preveliki koncentraciji prekrije lastno aromo ocvrtega živila. Lutein, ki spada med ksantofile, lahko močno obarva ocvrto živilo. Pri uporabi največje koncentracije dodatka luteina se je olju spremenila barva.

Podobno rezultate smo dobili pri merjenju vsebnosti konjugiranih dienov ter trienov. Največ teh spojin je nastalo v kontrolnem vzorcu. Manj jih je nastalo pri uporabi dodatka ekstrakta rožmarina, še manj jih je nastalo v olju z dodanim luteinom. Tudi tu je bil razviden vpliv koncentracije antioksidanta. Pri uporabi večje koncentracije antioksidanta je v olju med toplotno obdelavo nastalo manj konjugiranih dienov ter trienov.

Pri merjenju polarnih komponent v olju rezultati nekoliko odstopajo od pričakovanj. Tu dodatek antioksidanta ne povzroči znatnega zmanjšanja deleža nastalih polarnih spojin. Razlike med uporabo antioksidanta in kontrolnim vzorcem s krompirjem so majhne. Pri

dodatku luteina so že začetne vrednosti polarnih spojin nekoliko višje. Razlog je verjetno v tem, da sam antioksidant vsebuje polarne komponente.

7 VIRI

Aladedunye F.A., Przybylski R. 2009. Degradation and nutritional quality changes of oil during frying. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 86: 149-156

AOAC Official method 966.06. Fat (total, saturated and monounsaturated in foods). 1999. V: *Official methods of analysis of AOAC International*. Vol. 2. Cunniff P. (ed.). 16th ed. Gaithersburg, AOAC International, Chapter 41: 18-19

Aro A., Amaral E., Kesteloot H., Rimestad A., Thamm M., Poppel G. 1998. *Trans* fatty acids in French fries, soups and snacks from 14 European countries: The TRANSFAIR study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 11: 170-177

Bansal G., Zhou W., Tan T.W., Neo F.L., Lo H.L. 2009. Analysis of *trans* fatty acids in deep frying oils by three different approaches. *Food Chemistry*, 116: 535-541

Bartley E.G. 2005. Carotenoids: Chemistry, sources and physiology. V: *Encyclopedia of human nutrition*. Vol.1. 2nd ed. Caballero B., Allen L., Prentice A.(eds.). Amsterdam, Elsevier: 330-339

Belitz H. D., Grosch W., Schieberle P. 2009. *Food chemistry*. 4th ed. Berlin, Springer: 1070 str.

Bezjak M. 2004. Stabilizacija likopena z naravnimi antioksidanti v ketchupu. *Diplomska naloga*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 18-19

Craig-Schmidt C.M. 2006. World-wide consumption of *trans* fatty acids. *Atherosclerosis Supplements*, 7: 1-4

De Koning A. 2006. Antioxidants. V: *Handbook of food science, technology and engineering*. Vol.2. Hui Y.H., Manley C.H., Nip W.K.(eds.). Boca Raton, CRC Press: 85.1-85.10

Dobarganesi M.C. 2000. Determination of polar compounds, polymerized and oxidized triacylglycerols and diacylglycerols in oils and fats. *Pure and Applied Chemistry*, 72, 8: 1563-1575

Domitrovič R. 2010. Oksidacijski stres i antioksidansi. Zagreb, Fakulteta za farmacijo in biokemijo: 13 str.

<http://www.medri.uniri.hr/~robertd/glavna.html> (december 2010)

Filip S., Vidrih R. 2010. *Trans* maščobne kisline v prehrani. V: *Zdrava prehrana in javno zdravje*. Cvahtetovi dnevi javnega zdravja 2010, Ljubljana, oktober 2010. Hlastan Ribič C. (ur.). Ljubljana, Medicinska fakulteta, Katedra za javno zdravje: 162-175

Filip S. 2009. Nastanek *trans* izomer med toplotno obdelavo živil. *Doktorska disertacija*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 152 str.

Filip S., Hribar J., Vidrih R. 2011. Influence of natural antioxidants on the formation of trans-fatty-acid isomers during heat treatment of sunflower oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113: 224-230

Frankel E.N. 1998. *Lipid oxidation*. Dundee, The Oily Press: 23-77

Gamel T.H., Kiritsakis A., Petrakis C. 1999. Effect of phenolic extracts on trans fatty acid formation during frying. *Grasas y Aceites*, 50, 6: 421-425

Gerčar N., Šmidovnik A. 2002. Kinetics of geometrical isomerization of unsaturated fatty acids in soybean oil. *Journal of American Oil Chemical Society*, 79: 495-500

Jamnik S. 1992. Olje in masti rastlinskega porekla. V: *Lipidi*. 14. Bitenčevi živilski dnevi '92, Ljubljana, 4-5. jun.1992. Klofutar C., Žlender B., Hribar J., Plestenjak A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 57-69

Kirk P. 2005. Monounsaturated fatty acids. V: *Encyclopedia of human nutrition*. Vol.1. 2nd ed. Caballero B., Allen L., Prentice A.(eds.). Amsterdam, Elsevier: 198-205

Korošec L. 2000. Prosti radikali in vloga antioksidantov v bioloških sistemih. . V: *Antioksidanti v živilstvu*. 20. Bitenčevi živilski dnevi, Portorož, 26. in 27. oktober 2000. Gašperlin L., Žlender B. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo:

Klofutar C. 1992. Fizikalno kemijske lastnosti triacilglicerolov. V: *Lipidi*. 14. Bitenčevi živilski dnevi '92, Ljubljana, 4-5. jun.1992. Klofutar C., Žlender B., Hribar J., Plestenjak A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 11-16

Krečič Stres H. 2008. *Osnove živilske kemije*. Ljubljana, Biotehniški izobraževalni center: 69 str.

http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Osnove_zivilske_kemije-Krecic_Stres_NU.pdf (december 2010)

Kumerov F., Marn G. 2010. *Negativni učinki hidrogeniranih maščob*. Ljubljana, Mitax: 1 str.

<http://www.mitax.si/negativni-u-inki-hidrogeniranih-ma-ob.html> (januar 2011)

Lichtenstein A. H. 2005. Fats and oils. V: *Encyclopedia of human nutrition*. Vol.1. 2nd ed. Caballero B., Allen L., Prentice A.(eds.). Amsterdam, Elsevier: 177-186

Lutter C. K. 2005. Breast feeding. V: *Encyclopedia of human nutrition*. Vol. 1. 2nd ed. Caballero B., Allen L., Prentice A. (eds.). Amsterdam, Elsevier: 232-236

Mozzafarian D., Katan M. B., Ascherio A., Stampfer M. J., Willet W. C. 2006. *Trans* fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, 354, 15: 1601-1613

O'Brien R. D.1998. *Fats and oils: formulating and processing for applications*. Basel, Technomic publishing AG: 694 str.

O'Keefe F.S., Pike O. A. 2010. Fat characterization. V: Food analysis. Nielsen S. (ed.). Berlin, Springer: 240-260

Pedreschi F., Cocio C., Moyano P., Troncoso E. 2008. Oil distribution in potato slices during frying. Journal of Food Engineering, 87: 200-212

Pokorny J. 2006. Fats and oils: Science and applications. V: Handbook of food science, technology and engineering. Vol.1. Hui Y.H., Manley C.H., Nip W.K.(eds.). Boca Raton, CRC Press: 34.1-34.19

Referenčne vrednosti za vnos hranil. 2004. Ljubljana, Ministrstvo za zdravje Republike Slovenije: 215 str.

Rossi M., Alamprese C., Ratti S., Riva M. 2009. Suitability of contact angle measurement as index of overall oil degradation on oil uptake during frying. Food Chemistry, 112: 448-453

Richards M.P. 2006. Lipid chemistry and biochemistry. V: Handbook of food science, technology and engineering. Vol.1. Hui Y.H., Manley C.H., Nip W.K.(eds.). Boca Raton, CRC Press: 8.1-8.17

Sadler M. J. 2005. *Trans* fatty acids. V: Encyclopedia of human nutrition. Vol. 4. 2nd ed. Caballero B., Allen L., Prentice A. (eds.). Amsterdam, Elsevier/Academic Press: 230-236

Salobir K. 2001. Prehransko fiziološka funkcionalnost maščob. V: Funkcionalna hrana. 21. Bitenčevi živilski dnevi, Portorož, 8. in 9. nov. 2001. Gašperlin L., Žlender B. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 121-137

Sánchez-Gimeno A.C., Negueruela A.I., Benito M., Vercet A., Oria R. 2008. Some physical changes in Bajo Aragón extra virgin olive oil during the frying process. Food Chemistry, 110: 654-658

Sasikumar B. 2001. Rosemary. V: Handbook of herbs and spices. Vol. 2. Peter K. V. (ed.). Abington, Woodhead Publishing Ltd: 243-255

Skvarča M. 2000. Učinek antioksidantov na kakovost maščob. V: Antioksidanti v živilstvu. 20. Bitenčevi živilski dnevi, Portorož, 26. in 27. oktober 2000. Gašperlin L., Žlender B. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 179-191

Smith S.A., King R.E., Min D.B. 2007. Oxidative and thermal stabilities of genetically modified high oleic sunflower oil. Food Chemistry, 102: 1208-1213

Supelco. 2010. Potek frakcionacije. St. Louis, Sigma-Aldrich: 2 str.
http://www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Supelco/The_Reporter/t206002_pg12.Par.0001.File.tmp/t206002_pg12.pdf (december 2010)

Uredba komisije (EGS) št. 2568/91 z dne 11. julija 1991 o značilnostih oljčnega olja in olja oljčnih tropin ter ustreznih analiznih metodah. Uradni list Evropske unije, L 248/1, 386-452

Vidmar L., Oštrič-Matijaševič B. 1992. Termooksidativne spremembe olja med cvrenjem. V: Lipidi. 14. Bitenčevi živilski dnevi '92, Ljubljana, 4.-5. jun.1992. Klofutar C., Žlender B., Hribar J., Plestenjak A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 46-54

Wegmüller F. 1994. Polar components of frying fats derived from data of dielectric measurements. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 199: 51-54

Wegmüller F. 1998. Die Qualität von Fritierölen dielektrisch erfassen. Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene, 889: 301-307

Willett. C.W. 2006. *Trans* fatty acids and cardiovascular disease-epidemiological data. Atherosclerosis Supplements, 7: 5-8

Zambonin L., Prata C., Cabrini L., Maraldi T., Fiorentini D., Hakim G., Landi L. 2008. Effect of radical stress and ageing on the occurrence of *trans* fatty acids in rats fed a *trans*-free diet. Free Radical Biology and Medicine, 44: 594-601

Zelenik-Blatnik M. 1992. Kemične spremembe triacilglicerolov v živilih. V: Lipidi. 14. Bitenčevi živilski dnevi '92, Ljubljana, 4-5. jun.1992. Klofutar C., Žlender B., Hribar J., Plestenjak A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 17-27

8 ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela se zahvaljujem mentorju prof. dr. Rajku Vidrihu s Katedre za tehnologije, prehrano in vino na Biotehniški fakulteti ter recenzentki doc. dr. Nataši Šegatin.

Za pomoč pri praktični izvedbi diplomske naloge ter vse koristne napotke se zahvaljujem dr. Sebastjanu Filipu iz pekarne Pečjak v Trzinu.

Za pomoč pri statistični obdelavi podatkov bi se rada zahvalila doc. dr. Lei Gašperlin s Katedre za tehnologijo mesa in gotovih jedi na Biotehniški fakulteti.

Iskreno se zahvaljujem svoji družini, mami, očetu, sestri in bratu z družino za vso moralno ter finančno podporo in razumevanje.

Nenazadnje gre zahvala tudi Urošu Kovačiču in njegovi družini.